86-03076/

The Fisheries Research Board of Canada Reports series encompasses studies, symposia, and special reports.

Report No. 1 — "The Way Ahead" Symposium on the 75th Anniversary of the Fisheries Research Board of Canada.

Report No. 2 — The Fisheries Research Board of Canada — Seventy-Five Years of Achievements. By W. E. Ricker.

Report No. 3 — Science for Canada's Shelf-Seas Fisheries, By H. A. Regier and F. D. McCracken.

Report No. 4 — Biological Oceanography in Canada: A Perspective and Review. By T. R. Parsons.

Report No. 5 — Natura Naturans: A Symposium on the Fry Paradigm.

Report No. 6 — Structured Aquaculture Development with a Canadian Perspective. By G. I. Pritchard.

Report No. 7 — Science for the Scattered Fisheries of the Canadian Interior. By H. A. Regier.

Report No. 8 — Physical Oceanography in Canada. By C. R. Mann.

Published by / Publié par

Environment Canada / Environnement Canada
Fisheries and Marine Service / Service des pêches et des sciences de la mer

Office of the Editor / *Bureau du Rédacteur*
116 Lisgar, Ottawa K1A 0H3

Catalogue No. Fs97-10/9
Price: Canada: $3.00 Other countries: $3.60
ISBN 0-660-00532-8
Price subject to change without notice.
Printed by Donald F. Runge Limited, Pembroke, Ont., Canada.
Contract 02KT.KF801-6-0375

FRB REPORT

Chemical Oceanography in Canada[1,2]

C. R. MANN

Atlantic Oceanographic Laboratory, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S. B2Y 4A2

Contents

2 ABSTRACT/RÉSUMÉ

2 INTRODUCTION

3 CHEMICAL OCEANOGRAPHY, THE ENVIRONMENT, AND BIOLOGY
Physical processes
Water quality
Biology

5 PROBLEMS IN THE CHEMISTRY OF THE OCEANS
Fundamental chemistry
Composition of sea water
Transport of materials in the marine environment
Methods development

13 THE CANADIAN PROGRAM
Ocean and Aquatic Sciences, Pacific Region
Institute of Oceanography, University of British Columbia
Pacific Environment Institute
Section d'océanographie, Université du Québec à Rimouski
Department of Oceanography, Dalhousie University
Atlantic Oceanographic Laboratory
Comments

16 CONCLUSIONS

18 RECOMMENDATIONS

19 ACKNOWLEDGMENTS

[1] Reprinted from the Journal of the *Fisheries Research Board of Canada* 1976, 33(6): 1451–1469.

[2] This report was prepared under contract for the Fisheries Research Board of Canada. The views expressed are those of the author and not necessarily those of the Board.

Abstract

MANN, C. R. 1976. Chemical oceanography in Canada. FRB Report No. 9: 1–19.

Chemical oceanography is the most recently developed discipline of oceanography science in Canada. Only in the last few years have groups of chemists been formed in Canadian oceanographic institutions. Many of the chemists are new to chemical oceanography, they are still in the processes of developing their knowledge and sorting out those aspects of research in chemical oceanography that should be pursued in Canada.

The problems posed by pollution have accelerated the development of chemical oceanography and have also had a considerable influence on the subject matter studied by the chemists. Concern with pollution has led to a concentration of the effort in estuarine and coastal zone problems. This will continue into the foreseeable future. It is desirable that the Canadian program be extended to include arctic studies, the continental shelves, and an effort should be made to acquire baseline into waters around Canada.

More attention should be given to chemical oceanographic studies in support of fisheries, and the oceanography of the deep sea should not be neglected.

Canada can not hope to undertake research in all aspects of such a complex subject as chemical oceanography. The best strategy at the present stage of development is to be selective, develop science of significance in the laboratories as well as addressing practical problems, and to ensure that there is adequate contact with work done elsewhere in the world.

Accepté le 9 mars 1976

Résumé

MANN, C. R. 1976. Océanographie chimique au Canada. Rapport de l'ORP No. 9: 1–19.

L'océanographie chimique est la plus jeune des disciplines de la science de l'océanographie au Canada. C'est seulement au cours des dernières années qu'on a formé des groupes de chimistes dans les institutions océanographiques canadiennes. Pour plusieurs de ces chimistes, l'océanographie chimique est chose nouvelle; ils sont encore à développer leurs connaissances et à classifier les problèmes de recherche en océanographie chimique pouvant être étudiés au Canada.

Les problèmes que pose la pollution ont accéléré le développement de l'océanographie chimique et ont également eu une influence considérable sur le choix des sujets d'étude par les chimistes. C'est aussi à cause de la pollution qu'on a concentré ses efforts sur les problèmes des estuaires et de la zone côtière. Cette tendance se poursuivra aussi longtemps qu'on puisse le prédire. Il est souhaitable que le programme canadien s'élargisse pour inclure les études dans l'Arctique et sur les plateaux continentaux, et on devrait s'efforcer d'établir des lignes de base dans les eaux qui entourent le Canada.

On devrait donner plus d'importance aux études en océanographie chimique en rapport avec les pêches, et l'océanographie des profondeurs ne devrait pas être négligée.

Il serait illusoire pour le Canada d'espérer pouvoir entreprendre des recherches sur tous les aspects d'un sujet aussi complexe que l'océanographie chimique. Au présent stade de développement, la meilleure stratégie est d'être sélectif, de développer une science d'importance dans les laboratoires, tout en étudiant les problèmes pratiques, et de s'assurer qu'on maintient suffisamment de contacts avec ce qui se fait ailleurs dans le monde.

Accepted March 9, 1976

Introduction

This study was undertaken at the request of the Fisheries Research Board of Canada. Its object is to assess the effectiveness and adequacy of the Canadian program in chemical oceanography and to recommend improvements, bearing in mind its potential value to the management of resources. Chemical oceanography is the most recently developed discipline of oceanographic science in Canada. Only in the last few years have chemical oceanographic groups been established and some semblance of programs begun to emerge. Because most scientists in the groups are new to chemical oceanography, they are still developing their knowledge, and sorting out those aspects of research that should be pursued. As a result, it has not been possible to readily identify specific directions that are sufficiently compelling to warrant emphasizing at the cost of others. Rather, the conclusion is that to impose such restrictions on development of the basic research programs would be a mistake at this point. The immediate task is to consolidate the development of basic research in the present groups, to improve the training in universities, and to develop

a competence to solve those practical problems that involve a knowledge of chemical processes in the oceans.

This study has been limited to those scientists whose programs are concerned principally with the chemical processes in the water columns. Such a restriction leaves out two important groups: those whose interest is confined to the food chain, and others who are primarily concerned with sedimentary geochemistry. Chemical oceanography as used in this report is thus restricted to the water sphere.

The first section is a brief outline of the multitude of uses to which knowledge of the ocean's chemistry is put. In the following section a review of fundamental problems is given. The third and the fourth sections describe the Canadian program and contain conclusions and recommendations.

Chemical Oceanography, the Environment, and Biology

Most scientists and engineers concerned with the ocean need, at some time, knowledge of the ocean's chemistry, or, if they don't possess it, the help of a chemical oceanographer. Dissolved salts, which give sea water its character have a fundamental influence on the physical processes in the sea, and the trace elements and organic matter on creation of life in the oceans. Small changes in the concentration of dissolved salts with depth partly determine the density stratification of the ocean and thus the physical response of the ocean to its driving forces. Life processes, photosynthesis, growth, and metabolism are intimately tied to such features as the availability of nutrients and presence of trace elements. In many instances, particularly for the organic constituents of sea water, the life processes themselves modify ocean chemistry.

Recently the flux of chemicals from industrial and domestic activities to the ocean has given rise to concern that the quality of the ocean waters can be changed, particularly in the estuaries and along the coast near urban concentrations. Assessment and control of these changes have drawn heavily on existing chemical knowledge and will continue to do so. Control may be effected by government regulation and the chemical oceanographers' knowledge is continually sought after to help draft national and international legislation.

Physical Processes

The description of the distribution of chemical elements in the oceans has been used extensively to study circulation and mixing processes. Salinity data, i.e. the concentrations of dissolved salts, have been essential both for the description of the density field from which current speeds and directions can be calculated, and for the tracing of slow moving water masses. Success depended on the discovery by Dittmar (1884)[2] that the proportions of dissolved salts were the same throughout the oceans. Dittmar's work led to a rapid method of determining salinity by titration to determine chlorinity, from which the salinity could be calculated. Without such a technique the large quantities of data required could not have been collected. In recent years electrochemical methods for determining salinity have largely replaced titration.

Oxygen, and the nutrients, phosphate, nitrate, and silicate, have also been used in studies of advection and mixing. Oxygen has been of particular value in determining residence times of water in basins as it is gradually depleted by biological consumption. When quantitative computations of advection and mixing are made with these chemical parameters a difficulty arises as the concentrations are dependent on biological utilization, and other processes that are not yet completely understood. Other chemical parameters of use are alkalinity and total carbon dioxide concentration which can be used to trace water movement in upwelling areas and estuaries.

The introduction of techniques for radioisotope analysis offers the possibility of studying physical processes using the distribution of artificial and natural radioisotopes. The tagging of water movement can be done with a variety of isotopes, their usefulness depending on their origin and half life. Strontium-90, an isotope which has been distributed widely over the earth's surface in fallout from weapons' testing, is a good example of an isotope that can be used to tag water masses. Radon (Rn^{222}) as another example, is useful for estimating vertical eddy diffusion in bottom water in contact with the sea floor from which it is released into the water column through the decay of its parent radium (Ra^{226}). Some stable "conservative" isotopes can provide knowledge of water mixing and advection. These include excess helium-3, deuterium, and tritium. A unique advantage of helium-3 is that it is produced by degassing of the mantle in regions of actively

[2]Dittmar, W. 1884. Report on researches into the composition of ocean water collected by H.M.S. *Challenger* during the years 1873–1876. *In* J. Murray [ed.] Report on the scientific results of the voyage of H.M.S. *Challenger*: Physics and chemistry, HMSO, London. Vol. 1, pt. 1.

spreading ridges in the oceans and can thus serve as a tracer of "local" mixing. There has developed a considerable potential for the use of many of these new tracers in studies of circulation and mixing processes. Some can be used to test steady state ocean circulation models and others to provide information on real-time changes. Much of the success of these applications will, however, depend on the understanding we have of the chemical behavior in the oceans of the tracer concerned.

The chemical composition of sea water also determines its physical properties, i.e. the freezing point, specific heat, conductivity, the equation of state (p,v,t), and sound adsorption. A knowledge of these properties is essential for purposes such as design of sonar systems whose performance is affected by sound adsorption, and for stability calculations in physical oceanography which require a knowledge of the equation of state. There are still problems in these areas which need to be resolved.

Exchange processes between sediments and the overlaying water play a role in determining the chemical state of both sediment and water. Also, as sediments are deposited by settling of terrestrial and detrital material in the seawater medium, the reactions that occur in the settling process partly determine the sedimentary composition. Chemical oceanography provides an opportunity to aid exploration for marine geological resources. Studies of the distribution and chemical composition of manganese nodules (rich in Ni, Mn, Cu, and Co), have led to development of deepsea mining. The detection of hydrocarbon gas in the sediments and sea water has been applied commercially to detect oil and natural gas fields. This type of application is in its infancy.

Chemical processes in the ocean can also affect the atmosphere through exchange processes across the sea surface. The most important large scale interaction is the exchange of CO_2 between ocean and atmosphere, which involves the degree to which the ocean can absorb the increase in atmospheric CO_2 caused by man's activities. The increase has led to concern that the climate could be modified.

Water Quality

Concern that the quality of sea water can be degraded by the introduction of contaminants, as well as by natural processes, has led to much work in the past decade on the nature and effect of contaminants and on measures to mitigate their effects. In estuaries and inlets around whose shores there are large populations or industrial plants, the effects of contaminants is already apparent. There is no evidence that massive pollution of the ocean has occurred, but there is sufficient concern to warrant steps toward international controls. Agreement requires negotiation, and, when signed, government agencies enforce the regulations. This all amounts to a substantial effort.

The potential contaminants are numerous. Many nondegradable materials are manufactured which, if released to the environment, eventually reach the ocean, the ultimate sink. Heavy metals provide some of the most toxic materials, among them, mercury, lead, cadmium, and arsenic. These may be accumulated in the bodies of organisms and function as cumulative poisons. Some pollutants such as DDT, radioactive elements, certain refined petroleum products, to name but a few, have been synthesized.

A major pollutant is oil. Losses of oil to the ocean have been estimated at about 6.0 million tons each year. The oil may enter the ocean by various pathways; through accidental spills from oil tankers or barges; leakage from damaged pipelines, overflowing tanks and discharges from tank washings or bilge cleanings. The effect of spills on coastal environments has highlighted this type of pollution. Because surface currents carry the oil away from the place of input lumps of floating petroleum residues may now be found over extensive areas of the world ocean.

Chemical oceanographers have been, and will be, called upon to assess the effects of discharge from nuclear reactors, and of the disposal of radioactive waste in the ocean. For example, as the number of reactors increases it will be necessary to assess the effects of low-level radionuclides discharged in coolant water from reactors located on the coast. Also, the question of how to dispose of high-level radioactive waste has yet to be resolved satisfactorily. The ocean has been used as a dumping ground. The effects depend on type of reactor, location, and other factors. The problems related to location of reactors on coastlines is of particular interest to Canada because of inshore fisheries.

Pollution of the marine environment has done more to underscore the lack of understanding of marine chemistry than any other single problem, because concern about changes in ocean water quality is really a concern about changes in chemical composition of oceans. The task of assessing these changes, or potential changes, falls to the chemical oceanographer, and demands a knowledge of naturally occurring background levels, pathways to the ocean, distribution

by ocean currents and mixing processes, sedimentary processes, chemical equilibria processes, and biological interactions. There has been considerable progress in understanding all these processes that make up the cycle of a chemical constituent of the ocean. For some constituents the complete cycle is reasonably well understood. One serious deficiency faced by chemical oceanographers is a lack of baseline data. The need becomes particularly apparent when criteria for environmental protection legislation need to be drafted. Before these can be sensibly established for anthropogenic inputs it is necessary to know the natural background and its spatial and temporal variability.

Biology

Knowledge of the chemistry of the oceans is indispensable to the marine biochemist and the marine biologist, and it is not unusual to find both of them including measurements of chemical parameters in experiments designed to study the food chain.

Nutrient distributions were one of the earliest chemical features of the oceans of interest to the biologist as a supply of nutrients is essential for growth. It is in areas where the sea is rich in nutrients, often upwelling from deeper water, that marine life is found in abundance. With modern analytical techniques nutrient distributions are being mapped successfully but there remain problems concerning fluxes of nutrients into highly productive areas, and the regulation of the nutrient field by biological processes, that need to be solved before predictive models of the nutrient field can be successfully constructed.

For growth and metabolism all organisms require heavy metals that occur as trace elements in the ocean. If the natural balance of these elements is disturbed the equilibrium of the food chain may be disturbed. Some heavy metals are toxic and are concentrated as they pass upwards through the food chain, making animals at higher levels unfit for human consumption. Analytical techniques for measuring heavy metals have only been developed in recent years. Their development has been coupled with the concern that the natural level of toxic elements, such as Hg and Pb, can be raised by industrial activity. As a result the chemistry of trace metals has become one of the important areas where the chemical oceanographer should interact with the biologist.

Radioactive elements occurring in the ocean may be introduced or natural. The development of our understanding of their chemical behavior in the oceans has proven of value for the study of photosynthesis and for tracer studies of marine food chain transfer of trace metals. This again is a relatively new field with considerable potential, and, because the trace metals are involved, is one where we are concerned with the introduction into the ocean of toxic materials that can be assimilated by the food chain.

Very little of the ocean's chemistry is not intimately bound up with the ocean's biology and vice versa. The interactions are too extensive to pursue further, and we have only outlined three areas of interest. The whole subject of organic chemistry of the oceans is of course very much concerned with biology.

In the next section, which is a brief review of the fundamental chemistry of the oceans, the interactions between the chemistry, physics, and biology are dealt with in more detail.

Problems in the Chemistry of the Oceans[4]

Fundamental Chemistry

Solution chemistry — A knowledge of fundamental solution chemistry, as it pertains to both water and dissolved sea salt, as well as the interactions between the water molecules and the various organic and inorganic constituents, is required for an understanding of the processes that occur in the ocean. Water is a unique substance. Compared with other compounds having similar molecular weights, water has "abnormal" values for many of its chemical and physical properties, including freezing and boiling points, latent heats of freezing and vaporization, dipole moment, dielectric constant, and particularly its potency as a solvent for polar substances. These unusual properties arise from the distribution of electrical charges in the molecules and results in hydrogen bonding in the liquid. The extent of this association of water molecules or "structure" is dependent upon temperature, pressure, and the presence of dissolved substances. Some dissolved substances tend to enhance the degree of order in the liquid and thereby increase the degree of abnormality in the solution, whereas other substances act as structure-breakers and increase the tendency toward the properties of an ideal liquid. Soluble organic compounds, in addition, tend to be surface active and modify the surface roughness of the ocean, its reflectivity, and exchanges of substances through the water–

[4]Levy, E. M., and E. P. Jones. 1975. Chemical oceanography in Canada: A review of the past and an assessment for the future. Fish. Mar. Serv., Bedford Inst. Oceanog. Rep. Ser. VI-R-75-1: 29.

gas interfaces. Modification of water structure also occurs at interfaces between water and gas bubbles or suspended solid particles.

Although existing chemical thermodynamic theory of solutions is reasonably well developed for systems containing relatively few components and at "infinite" dilution, theory for solutions in which there is an appreciable interaction between the solute and the solvent is inadequate. Sea water is a horrendously complex multicomponent electrolyte containing virtually every existing organic and inorganic compound at concentrations ranging from about 3.5% for common salt to trace amounts for certain constituents. Our understanding of the chemistry of the oceans would improve tremendously if solution thermodynamics were developed to the stage that it can be applied successfully to seawater systems.

Activity coefficients for ions in sea water, their degree of complexation or oxidation states are not well known. It is, therefore, impossible to obtain true thermodynamic equilibrium constants for equilibria in the ocean, and most equilibrium constants, dissociation constants, solubility products, etc., for sea water have been based on concentration rather than activity measurements. As a result, there is considerable disagreement regarding fundamental equilibria in the ocean, a notable example being the carbonate–bicarbonate system. As the speciation of organic substances and their activities is almost unknown at this time, little information is available regarding the thermodynamics of organic–organic or organic–metal reactions in sea water.

An understanding of the effects of pressure on the surface and properties of water and sea water is prerequisite to an understanding of the thermodynamics, the reaction mechanism, and kinetics of reactions that occur in the ocean, especially in the deep ocean. Virtually nothing is known with respect to reaction mechanisms and kinetics in the marine environment. This is an important future field of investigation.

Surface chemistry — Relatively little is known about the fundamental aspects of surface chemistry as it pertains to the oceans. Suspended inorganic particles (erosional minerals, animal shells, chemical precipitates, etc.) and organic particles (organisms and organic agglomerates) are present at some concentration everywhere in the oceans and participate in precipitation–dissolution, adsorption–desorption, ion exchange, and various other surface reactions. River-borne suspended particulate material is often colloidal in nature, and the abrupt change in salinity that occurs where the river enters the sea brings about flocculation of the colloids and settling. As the particles sink they may scavenge dissolved substances from the water column and carry them to the bottom where they become incorporated into the bottom sediments, thereby removing both the suspended material and any dissolved materials that might be adsorbed on them. This is an important mechanism for transport of substances through the water column and may be significant with respect to the immobilization of pollutants in the marine environment. On the other hand, this process could have adverse effects because pollutants adsorbed onto particles may be readily ingested by filter-feeding organisms. Furthermore, the settling mechanism carries pollutants to bottom-dwelling organisms that might not otherwise have been exposed to pollutants in the water column.

The partitioning of substances between the gas and liquid phases, when gas bubbles are in contact with water, is a well-known phenomenon and is the principle upon which a very sensitive method of analysis for dissolved hydrocarbons in sea water is based. This process must undoubtedly play a very important role in the chemistry of the ocean environment yet is just another example of fundamental surface chemistry about which we know very little.

Organism–ocean interactions — Although laboratory studies have provided some idea of the nature of the organic compounds released during the growth of algae and of the materials released on the death and disintegration of the cells, experiments involving natural populations are complicated by the presence of bacteria and of zooplankton which not only consume some of the algal organic material but also produce other organic compounds as a consequence of their own metabolism. However, the short duration of such experiments and the limited size of the experimental container impose considerable constraints upon the relevance of the experimental results to the processes that actually occur in the ocean. To solve this problem, flow-through systems or "big-bag' 'experiments continued for at least one complete season (e.g. the Controlled Ecosystem Pollution Experiment (CEPEX) in Saanich Inlet) are required. Before the dynamics of the organic carbon cycle in the oceans can be worked out, the amounts and kinds of free organic compounds contributed by annual primary production ought to be studied.

Organic matter is added to and produced in the ocean in substantial quantity, yet little accumulates in the sediments and apparently none in the water column. It is generally concluded,

therefore, that the organic material is being utilized by phytoplankton and heterotrophic microorganisms within the sea. It has been suggested that the levels of organic compounds widely distributed in the sea represent the levels to which they have been reduced by bacterial activity and below which they are unable to support bacterial growth. The role of oxidation and other chemical reactions which might be important in the removal of organic materials in the sea requires further study.

Insufficient attention has been given to organic compounds as sources of nitrogen and phosphorus and their role in nutrient chemistry. For example, urea and amino acids at the concentrations found in sea water are satisfactory nitrogen sources for phytoplankton. The investigation of the best conditions for growth of algae will be important for any serious consideration of algae as a food or energy source.

The transformation of dissolved organic matter into particulate organic matter is presently a contentious issue and requires further elucidation. The importance of this process as a source of nutrition should be determined, in view of future considerations of culturing zooplankton, either as food or as food for higher animals. The take-up of organic materials by benthic organisms such as oysters has important implications regarding their feeding and possible concentration of toxins.

Aside from nutrition, specific organic compounds have been shown to induce behavioral changes in marine life forms, probably analogous to the effects of pheronomes in insects and the senses of taste and smell in higher terrestrial organisms. The implications of sex attractants and feed-inducing compounds for commercial rearing of marine forms are important. In addition, competitors or predators might be controlled in areas of aquaculture through the judicious use of sensory agents. The whole field of "chemical sensory agents" and "etrocrines" in sea water is extremely important and deserves serious attention.

Little is known concerning the organic materials released to the ocean by zooplankton, with attention being focused upon compounds containing nitrogen and/or phosphorus. So far, no work has been reported on the nature of these organic phosphorus compounds.

Composition of Sea Water

Sea salt — Many components of sea salt show little variation throughout the sea, but some minor components vary 100-fold from place to place. The relative concentrations of the major ions of sea salt are remarkably constant throughout the oceans. Of the six dominant ions, Cl^-, SO_4^{--}, Mg^{++}, K^+, Ca^{++}, and Na^+, only the relative concentrations of CA^{++} and Mg have been shown to vary measurably from place to place. The constancy of composition also extends to many lesser components of sea water.

Except for dissolved gases and some trace elements in sea water, it is believed that almost all variations in composition of sea water arise from the removal of elements from the surface sea water by organisms and the subsequent destruction of organism-produced particles after downward movement. This produces a vertical variation in the concentrations of biological elements as well as horizontal variations in the deep ocean related to upwelling and deepwater circulation. The sinking of organic materials also results in a marked variation of organically influenced elements in the sediments on the ocean floor.

In any discussion of the composition of sea water, one must wonder why the relative composition of major constituents is so different from that of the various inputs, rivers in particular. The mechanisms for removal of several of these constituents are not at all well known. Some are merely guessed at and most proposed hypotheses rest on inadequate evidence.

Nutrients — The abundances of the nutrient ions, phosphate, silicate, nitrate, nitrite, and ammonia play a major role in controlling the productivity of the sea. Since publication of *The Oceans* by Sverdrup, Johnson, and Fleming in the early 1940s when most problems regarding the role of nutrients in the ocean were outlined, only the inventories of silicate, nitrate, and phosphate have been adequately pursued, with research being focussed on the development of suitable analytical procedures and the study of the temporal and spatial distribution of nutrients in the ocean. Recently, the use of auto analyzers and computers has greatly expanded this capability and improved the precision and accuracy of the methods for routine determinations. Consequently, the results of present surveys provide consistent sets of data for large-scale studies of oceanographic processes.

Future study must focus on the rates and regulations of those processes that control and determine the characteristics of the nutrient fields, the derivation of mathematical expressions to describe these processes, and the construction of predictive mathematical models. Included are the rates of nutrient uptake by plankton and nutrient

release by bacteria and zooplankton. These processes are modulated by environmental factors such as light, temperature, and pressure, water column stability, plus biological factors such as biomass, species, and age.

Controlled environment experiments may well be the way to study complex enzyme systems and biological transport mechanisms upon which a full understanding of the role of the nutrient substances and other biologically active materials depend.

In addition, the nutrient regenerative process, that is, the dynamics of consumption and production of oxygen, carbon dioxide, hydrogen sulfide, nitrogen, hydrogen, and methane are also controlled by intracellular enzymes of marine organisms. To implement research in this field we must identify the enzyme or enzyme systems that control the utilization and the formation of PO_4^{-3}, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, and SiO_2. In addition, we must develop analytical techniques to measure the activities of these enzymes and to derive mathematical expressions for the regulatory mechanism by which light, substrate level, temperature, and physiology control their activities. Particular emphasis should be given to models of the processes that control the nutrient cycles in upwelling areas, the deep sea, oligotrophic open-ocean gyres, the top 10 cm of the water column, the near-bottom nepheloid layer, and the interstitial water of sediments.

Inorganic materials — One important problem in marine chemistry is simply to try to understand which chemical species and reactions occur in the ocean. For most major ions in sea water, there are not enough thermodynamic and kinetic data regarding the chemical reactions controlling their concentration and for almost all there is virtually no information on the role of organic materials in these reactions. In addition, little is known of the actual chemical species present in solution and in particles in sea water. This is particularly true for the minor elements and trace metals, but uncertainties also remain in models that attempt to describe the speciation of the major constituents. The effects on speciation of high pressures encountered in the deep oceans are poorly known.

It is certain that major interactions between solutes and particles occur. Particles in the sediments and suspended near the bottom, as well as particles within the water column, may significantly alter the chemistry of sea water and may play a role in the chemical composition of the oceans. Our knowledge of these effects is rudimentary.

Knowledge of inorganic processes involving minor and trace elements is important for several reasons. The impact of man's activities on the ocean is largely determined by what happens to the minor elements added to the sea. For example, some heavy metals are of concern because of their great potential for harm, and their chemical behavior in the marine environment cannot now be predicted. With regard to naturally occurring minor elements, some reactions involving these components are significant in the formation of potentially economically important materials such as manganese nodules and phosphate deposits. Finally, minor elements can serve as sensitive indicators of biochemical and geochemical processes, providing their chemistry is sufficiently well understood in the particular instance of this application.

A study of the distribution and migration of individual elements and compounds in the various parts of the earth with the object of discovering the principles governing their distribution, transport, and fate is needed to understand the interactions between the ocean and the adjacent atmospheric, sedimentary and terrigenous environments. Knowledge of the spatial and temporal distributions of some major and most minor constituents, of the chemical reaction in which they participate, and of the controls they exert on equilibria is not sufficiently advanced to allow definitive modeling of their distributions or evaluation of their geochemical significance. As a result, there has been little incorporation of major and minor element distributions into ocean circulation models. Analysis of stable istotopes of some materials, oxygen in particular, has played a role in this regard, however, and promises to continue to do so. In addition, stable isotope and radio nuclide studies as well as trace element analyses will undoubtedly be important in work on sediment–water interactions and in following certain materials in their circulation through the ocean, land, and atmospheric environments.

It is necessary to adopt a broad approach to marine geochemistry in which it is recognized that exclusive attention to processes occurring within the oceans would be inadequate to provide the information required. In projecting future trends, considerable emphasis has to be placed on the study of boundary exchange processes in addition to the more classical aspects of chemical oceanography associated with water circulation studies. In summary, in considering the specific areas in which increased activity is required, it must be realized that no clear segmentation of each program can exist. Each must fit into an overall pattern of research aimed at better under-

standing of environmental transport processes and pathways for natural and nonnatural chemical substances.

Organic components — Because of the great variety, low concentrations, and short residence times of many organic compounds in sea water, the molecular speciation of the organic matter in the ocean is virtually unknown. Even the total amount and distribution of dissolved organic carbon is currently in dispute. Because the relatively high concentration of inorganic salts precludes most conventional methods of extraction, concentration, identification, and quantification suitable analytical methods exist for only a few compounds. Therefore, the reported presence of a specific organic compound in sea water is often more a reflection of current methodology than of its importance in the ocean.

A common basis for the investigation of the organic compounds in the ocean is to assume that they do not differ greatly from those present on land. However, such common terrestrial substances as lipids, carbohydrates, and amino acids are found in too small quantities in sea water to account for the bulk of the organic matter present. The balance, termed "gelbstoffe" or "humic substances," clearly requires characterization.

Another important area is the interrelation between dissolved and particulate organic material in the ocean. Although a number of processes by which particulate matter can be produced from dissolved organic matter have been postulated, no work has yet been done on the effects of salinity, temperature, and pressure. The compression of surface films and breaking of bubbles at the surface are possible mechanisms which should be investigated, and reports of the formation of particles from dissolved organic material in the water column should be confirmed. These processes are important because the organic matter thereby becomes available to filter-feeding organisms and suitable for colonization by microorganisms. In addition, the particles may sink and be removed from the water column by sedimentation.

The importance of fecal pellets, molted carapaces of zooplankton and other "detrital organic matter" has not been fully assessed, nor has the question of "living" versus "dead" with reference to the particulate matter been fully resolved.

Transport of Materials in the Marine Environment

Land–sea exchanges — The major mechanism for land-derived material entering the ocean involves river transport of dissolved and particulate matter. Materials contained in run-off and river water entering the oceans are the products of weathering, recycled materials which are marine-derived (reaching the land by way of rain), and materials discharged by human activities into water courses. In addition, many synthetic organic compounds have recently been entering the oceans as a result of human and industrial activities. Considerable emphasis ought to be placed upon the study of nearshore areas subjected to significant quantities of freshwater run-off, and particularly upon major river estuaries where there exists a need for knowledge of the fluxes of various chemical components of fresh water which enter and leave these areas. A thorough review of the composition of world rivers carried out in 1963, urgently requires updating because of the wealth of more recent data gleaned with the application of improved analytical technology. Recent environmental concerns have demanded answers to many questions involving freshwater discharges of inorganic and metal-organic compounds. Existing background data and their interpretation are seldom adequate for the immediate response to these questions.

Land drainage has also been proposed as a major source of organic matter to the ocean. However, studies of organic matter in the waters of the Gulf of St. Lawrence indicate that river input of organic materials might be greatly overestimated. Large amounts of organic matter carried in rivers appear to be precipitated where fresh water enters salt and laboratory studies of the effects of increasing ionic strength on clumping of particles are required. The removal from the marine environment of anthropogenic materials, such as halogenated hydrocarbons by precipitating particles, is a process worthy of investigation. In addition, field studies are needed to determine whether estuaries are indeed major sources of ocean organic matter. A careful carbon budget, therefore, should be kept on both a natural and a man-modified river system to measure the extent of the organic contribution from land and from the sea to the estuary.

A second mechanism for land-derived materials entering the ocean involves wind transport of particles and gases produced on or over land and brought to the ocean surface. Although this path for land-derived materials is not significant compared to river input for the major components in the ocean, it might be significant for some trace components in certain regions and almost certainly is of importance for some man-made materials. The fact that one can smell the land aboard ships well out from land is an indication that wind transport of land material exists.

Monitoring materials and their concentrations in the atmosphere, especially downwind of industrialized areas, in conjunction with oceanographic sampling would be most worthwhile in determining the significance of this transport mechanism, especially with respect to materials harmful to the environment.

Air–sea interactions — The surface of the ocean and its interactions with the atmosphere represent a most important area for investigation. Globally, the profound influences of the ocean on weather and climate occur through the interactions of the atmosphere with the sea surface. The ocean is a large source for atmospheric particles and is both a source and a sink for important components of the atmosphere. It is often said that the food chain for marine life begins in the top millimetre or so of the ocean. Because of the relatively short atmospheric circulation time, global as well as local aspects of air–sea interactions are of considerable importance and relevance. In addition, there may be special areas of interest in air–sea interactions related specifically to Canada's northern geographical location.

There are perhaps two areas in which chemical oceanography is important in the investigation of air–sea interactions. The first is material transport through the ocean surface. Specifically, what materials are being added to the present-day ocean from the atmosphere and what ones are leaving it to the atmosphere? How much of these materials is being transferred and are their fluxes changing with time? What can be learned about the present-day dynamics of the circulation of material through the continental, ocean, and atmospheric reservoirs? And what might be learned about the history of the earth from these fluxes? The second area is in the investigation of the surface of the ocean itself. It is, after all, the surface through which materials pass and, therefore, which must be understood if air–sea interactions are to be understood.

Materials can enter or leave the ocean surface in two ways: as particles and as gases. Particle fluxes may be important, for example in understanding marine climates as they could form nuclei for rain. In addition, they play a role in determining the quality of the air near the coast and could be an important source of pollution if coastal waters are polluted. The main mechanism for the production of marine aerosols is believed to be bursting bubbles which eject droplets containing materials from the sea surface.

The nature of the surface microlayer of the ocean undoubtedly plays an important role in determining material transport between the atmosphere and ocean. It is believed that the surface is covered almost everywhere by an organic film (not usually a slick) and that the concentration of materials in the top millimetre or less is different from water below. Of equal or perhaps greater importance is the study of the chemistry of the sea surface itself; what materials are present, what may be concentrated at the surface, and what role microorganisms play in the production and concentrations of these materials. Whether particular materials, organic pollutants, or perhaps trace metals are concentrated in the surface microlayer is an unresolved problem, but the fact that some of this material may be biologically harmful and can be transported to the land by the marine aerosols produced by bursting bubbles makes the surface microlayer a region worthy of study, both in its own right and as a result of concern for the environment. The bubbles are also known to be able to scavenge bacteria and perhaps other materials from the water below the surface and concentrate them in the resulting aerosols. Thus, they could be a source of airborne disease and a major source of radioactive particles in the atmosphere if accidents involving offshore nuclear reactors occur. Not to be overlooked in a consideration of the sea surface and pollution, is oil. That is such an important question that it must be dealt with separately elsewhere.

The study of gas fluxes is equally important or perhaps more so. For example, burning fossil fuels is causing a significant increase in the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. It has been predicted that, if the present rate of increase of concentration of carbon dioxide were to continue, there would be major modifications of the earth's climate. Estimates indicate that up to 40% of carbon dioxide produced by humans goes into the ocean. Because of the relatively complicated chemistry that occurs on entering the ocean, it is hard to predict what the consequences of the increasing carbon dioxide absorption will be. Some researchers are pessimistic regarding this increase because of possible modifications of both the climate and the ocean, the latter because of the importance of carbon dioxide in biological processes. This pessimism, based on conjecture and on extrapolations of data, is not unfounded, but clearly much more work has to be done before any reliable predictions can be made. Other important gases to study for an understanding both of natural processes and of pollution include oxygen, nitrous oxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide. In addition, fluxes of noble gases are helpful in understanding ocean circulation and other geophysical processes and may be able to shed light on the geological history of the earth.

Closely associated with gas fluxes and their importance in air-sea interactions are the energy, momentum, and water vapor fluxes into and out of the ocean. Some of the most advanced work on developing techniques to measure fluxes has been done in Canada. It has been proposed that the sophisticated ideas and instrumentation developed for this work can be applied to determine particle and gas fluxes between the atmosphere and ocean. Lasers have been used to detect low concentrations of different materials in the atmosphere. As present technology offers lasers operating in almost any region of the spectrum from infrared to ultraviolet, one can hope that the flux of almost any gas known to exist in the atmosphere, organic or inorganic, including those which react with the ocean or are unidentifiable in the ocean, can be measured. Development and expansion of the existing techniques and applying them to measure gas fluxes would thus be a very important and natural step for Canadian chemical oceanographic research to take.

It is difficult to dispute the importance and relevance of any of the topics mentioned as reasonable areas for investigation in a Canadian air–sea interaction research program, both in terms of Canada's global responsibilities and interests as a major maritime nation with a large stake in offshore resources and in terms of understanding and protecting our own environment. With finite resources for research into air–sea interactions, however, one must be selective. It is, therefore, both reasonable and appealing to build on the strength and experience gained in the study of energy, momentum, and water vapor fluxes to study particle and gas fluxes. Tackling the problem of gas fluxes is especially attractive because the possibility exists of large rewards in terms of developing definitive techniques to answer the important question outlined. In addition, the intermittently ice-covered polar seas may be areas of strong air–sea gas exchange. Thus, a special consideration for Canada in air–sea interactions and gas flux studies is the seasonal ice cover in our large northern seas.

Sediment–ocean interactions — The interface between the ocean and bottom sediments is not as sharp as the air–sea interface. It is undoubtedly an extremely complex region, involving a mixture of sea water and partially suspended organic and inorganic particles, and, in shallow regions at least, it is a region of high biological activity. The chemistry of this region is unique in that it involves a complicated interplay of chemical reactions, physical chemistry processes, and mechanical motion of partially suspended or easily transported matter. The formation of manganese nodules which spend millions of years at the interface without becoming buried in the sediments exemplifies this. To understand the chemistry of the ocean-sediment interface, and to appreciate its significance for the rest of the ocean, one must also include a study of the sediments themselves, as they reflect past ocean–sediment interactions and because at least the near-surface sediments are still playing a role in the chemistry of this region. The character of the sediments accumulating at any point on the seafloor is closely related to the distribution of the biologically utilized elements within the sea and much of our knowledge of the chemical processes taking place within the sea stems from studies of these sediments. They are the direct or indirect evidence of the inputs to the sea and of the recycling within the sea.

Ocean sediments are dominated by two major components, clay minerals from the continents and SiO_2 and $CaCO_3$ formed from hard parts of marine organisms. Opal accumulates most rapidly beneath those areas of the ocean where upwelling of Si-rich water occurs and diatoms and radiolarians live in great abundance. Because ocean water is undersaturated with respect to opal, opaline-rich sediments are found almost only in regions of rapid accumulation. On the other hand, $CaCO_3$ is produced reasonably uniformly, but falls into water that in some places is undersaturated and in others is supersaturated. Thus the distribution of opal and calcite in sediments strongly reflects the horizontal segregation of biologically utilized elements in the deep sea. Determinations of these materials in the water column and in sediments is, thus, a good probe of the time and spatial variations in the ocean's chemistry.

Measurements of fluxes of various materials through the ocean–sediment interface are of value for several reasons. Falling particles undergo chemical and biological degradation within the water column and at the ocean–sediment interface. They can represent a relatively efficient transfer process through the water column for both nutrients and trace elements. Conversely, material from underlying sediments can be dissolved and transported into the ocean. There is little data on the latter, probably important, process. In addition, gas fluxes, for example helium diffusing through the sediments from the earth's interior and CO_2 and CH_4 being produced by microbial decomposition of organic matter at the interface, need to be studied to help resolve questions about the earth's interior and chemical and biological processes within the ocean.

The estuarine and continental shelf sediments

are in some respects less completely studied than the deep ocean sediments and yet have greater importance with respect to economic areas, fishing, and oil production, for example. Because of higher sedimentation rates, larger pH and Eh fluctuations, more active bioperturbation of sediments and their higher organic contents, their chemistries are more varied and invite much additional attention.

Determinations of ocean–sediment processes have been made almost entirely by measurements in the water column or in the sediments. Possibly the most interesting region to explore is the ocean sediment interface; however, major difficulties arise from its remoteness and, more importantly, from the ease with which the sediments can be disturbed. It is in this region perhaps more than in any other that in situ measurements are required, and the development of almost any type of instrument to probe the processes occurring at the interface would be of extreme value.

Sea ice — A subject of direct practical importance is the chemical and physical changes that occur during the freezing of sea water and the melting of sea ice. During the freezing process, salt is rejected from the growing ice crystals. Although some of the salt is entrapped in brine pockets within the sea ice, the remainder brings about an increase in the salinity and density of the underlying water which then tends to sink. As a result, salt is transported away from the zone of freezing. When the ice melts, fresh water is returned to the system, or alternatively the sea ice moves away from the area in which it formed resulting in the transport of water of low salinity and a source of cold. This separation of sea water into more saline and less saline components and their movements is a subject of particular concern to Canada in view of the vast coastal and arctic areas subject to these processes during a major portion of the year. In addition, the biota unique to ice water may produce chemical conditions significantly different from those in the open sea regions.

Methods Development

It was stressed earlier in this report that one major obstacle to progress in chemical oceanography in the past was the inadequacy of existing methodology. To some extent this situation has been relieved by recent developments in analytical procedures and equipment, but further progress is needed with respect to the refinement of methods for the collection of discrete samples of water, gases, sediments, and organisms from the marine environment and their analysis in shipboard or land-based laboratories; the development of in situ instruments that can be lowered through the water column to carry out sampling and analysis continuously and relay the data back to the ship where profiles of the parameters being measured are displayed and recorded; the development of systems to be used from moored or drifting buoys and from submerged installations which can be monitored from shore or visited periodically; and finally the development of remote-sensing systems to be used from aircraft or satellites to measure oceanographic parameters.

The major platform for chemical oceanography will continue, for the foreseeable future at least, to be the research vessel, and analytical procedures that can be carried out at sea require further development. It should be kept in mind also that the ship requirements for chemical oceanography are often different from, and sometimes incompatible with, those of other branches of oceanography. This may restrict the extent to which multidisciplinary studies can be carried out. Considerable laboratory space is needed for chemical work and "clean" laboratories are essential for trace analyses. In addition, care must be taken to avoid contamination from the hydrowire, the ship's atmosphere, and the ship itself.

Contemporary methods of chemical analysis, including ultraviolet and visible spectrophotometry, atomic absorption spectrophotometry, neutron activation, gas–liquid chromatography, electrometric methods, etc., are often inadequate for oceanographic applications. For example, existing procedures are barely adequate for studying variations in the ratios of the major constituents in sea water, or for many trace inorganic and organic compounds where the detection limits are only slightly below the actual concentrations present. This has led to considerable disagreement between different workers regarding the levels of trace metals and dissolved organic compounds in sea water. Many differences would be resolved if adequate and standardized methods of analysis and standard reference materials were available for use in marine chemistry. Only then will sufficiently precise and accurate analyses for use in the courts in support of the proposed Environmental Contaminants Act become available. Furthermore, international acceptance of standard methods and reference materials may be the controlling factor with respect to legislation relating to ocean dumping and marine pollution by shipping as well as the success of global pollution monitoring programs.

The identification of the components of the organic matter of sea water is one of the more difficult tasks of analytical chemistry. Most an-

alytical methods identify classes, for example, carbohydrates or amino acids, rather than individual compounds. Although this may be appropriate in some cases, methods for concentrating the organic matter in sea water and subsequent identification of specific compounds are needed.

Freeze-drying offers some special advantages over other methods. The salts resulting from this process should be amenable to the separation of the organic fractions by a succession of solvents of increasing polarity, analogous to column chromatography. This technique should be developed as a general method for the concentration and separation of the various fractions of organic matter in sea water, while advancements in high pressure liquid chromatography might make it possible to separate the organic fractions on a basis of molecular weight. Related techniques, such as pressure dialysis, show promise for the separation of colloidal materials from those in true solution.

The possibilities of gas chromatography for the separation and detection of organic compounds in concentrates from sea water have hardly been explored. Increased specificity, rather than sensitivity, of detectors is required before conventional gas chromatography can be successfully applied to this problem. Gas chromatography and mass spectrometry with appropriate computing facility are theoretically capable of identifying every component on the chromatogram and hold great potential for this and other problems in marine chemistry. The utility of this approach in oil pollution work has already been demonstrated.

To describe the distribution of organic carbon, both in space and time, and to identify the principal compounds present, it is necessary to know the total amount of organic carbon present, as well as the major groups of compounds present. In addition, it is highly desirable that the analytical method be simple enough to be performed at sea.

Existing methods to measure total carbon convert organic matter present in a water sample to carbon dioxide, after removing the inorganic carbon. The discrepancy between the results obtained by wet oxidation and dry combustion must be resolved before this aspect of chemical oceanography can be studied effectively. A method that shows considerable potential is an "instantaneous" or direct injection combustion technique followed by conversion of carbon dioxide to methane and determination in a flame-ionization detector.

The present trend is toward automation where suitable methods are available for sample processing and analysis as well as the handling of analytical data. Not only is the repeatability of analytical procedures improved by reducing human error, the tedium of routine analysis is greatly relieved. Seagoing automated methods enable many kinds of analyses to be carried out soon after collection and thereby not only eliminate uncertainties arising from the storage of samples but also allow for repeat sampling or other appropriate action to be taken before leaving the sampling site. Nevertheless, it would appear that refinements to existing analytical methods for both inorganic and organic substances in sea water are approaching their full potential, and that a new concept of analysis is required to solve many contemporary and future problems in chemical oceanography.

The development of in situ devices for use in chemical oceanography holds great promise for the future. Sensors are presently available for temperature, salinity, dissolved oxygen, particulate material, and pH, but not for other constituents in sea water. Future developments in this field may completely alter present approaches to marine chemistry. In addition, remote sensing from aircraft or satellites will probably be used more extensively for survey purposes.

The Canadian Program

Chemical oceanography in Canada has only developed as a substantive program in the past 5 years. Prior to 1960, a handful of chemists were working on the west coast on problems related to the fisheries, but there was at that time no chemical oceanographers active on the east coast. Between 1960 and 1970 chemists whose main interest was focussed on the ocean's chemistry were recruited by institutions on both coasts but they mostly worked as individuals associated with one of the other disciplines. From 1970 on there has been a sufficient number of chemical oceanographers for some of the institutions to identify programs in chemical oceanography. At the present time there are six university and Federal laboratories engaged in chemical oceanography and a total of 24 chemical oceanographers. This is not the sum total of all investigation of the ocean's chemistry in Canada as there are biochemists associated with fisheries who undertake some studies of the ocean's chemistry as part of their main interest in the food chain. The 24 chemical oceanographers work in three university and three Federal laboratories.

Ocean and Aquatic Sciences, Pacific Region

The Ocean Chemistry Division of the Ocean and Aquatic Sciences, Pacific Region, is the major group on the west coast of Canada con-

ducting research on ocean chemistry. The division is composed of three marine chemists and was established in 1970. The division was hampered initially by lack of laboratory facilities; however, it is now established in a temporary laboratory in Victoria and will eventually be housed in the Patricia Bay Institute.

Research related to the carbon and oxygen cycles are a major part of the present program. The carbon cycle effort is devoted to CO_2, its occurrence in sea water, and its importance in productivity assessment and marine carbonate chemistry. The work has been concentrated on oceanic studies using data from Ocean Weather Station Papa, and from the Canadian transocean cruises *Hudson* 70 and *Transpac* 72. The research program at Station Papa provides one of the few time series available in the open ocean and this has allowed studies of the variation of atmosphere CO_2 with time, and the monitoring of carbonate chemistry parameters in the water. On the transocean cruises studies have been made of the difference in CO_2 between air and surface sea water, and, of the ability of the ocean to control the accumulation of fossil CO_2. The CO_2 cycle is also being studied in the Controlled Ecosystem Pollution Experiment (CEPEX), an international experiment to study a plankton community isolated in a large plastic bag suspended in the ocean.

Work on environmental contaminants is mainly on petroleum-based hydrocarbons and lead, their distributions in sea water, marine organisms, and surface sediments, in the North Pacific, the Strait of Georgia, and the Beaufort Sea. The division contributes to the CEPEX experiment with lead-isotope studies of marine food chain transfer and radiochemical tracer studies.

At Station Papa there is an ongoing program to monitor nutrients, radiocarbon, and, in the future, tritium, in addition to the measurements of CO_2.

A future program of consequence in assessing water quality will be the Strait of Georgia program which will include monitoring of heavy metals, petroleum-based hydrocarbons, and chlorinated hydrocarbons.

Institute of Oceanography, University of British Columbia

The Institute of Oceanography at the University of British Columbia has one chemical oceanographer on staff. Recent research has been on trace metals and has covered the distribution of Mn, Cu, Zn, Ni, and Cd in Saanich Inlet, and how the concentrations varied as the bottom waters changed from oxic to anoxic conditions; and the interaction of Cu and Zn in the Strait of Georgia with suspended solids from the Fraser River.

It is the intention of the Institute to add a biochemist and develop a program oriented toward biochemistry.

Pacific Environment Institute

The Pacific Environment Institute was established in 1970 to conduct research on water pollution with reference to protection of aquatic renewable resources in the Pacific region. As part of its program the Institute undertakes studies of chemical pollutants in coastal areas with emphasis at the present time on estuaries. There are two chemists involved in these studies. Recent work has included the distribution and effects of mine tailings in Howe Sound and Rupert Inlet; field studies of marine pollution in the vicinity of pulp mills, and identification of organic constituents in pulpmill effluents toxic to aquatic life; and work on the resin acids and their levels in the Fraser and Thompson rivers.

Section d'océanographie, Université du Québec à Rimouski

The most recently formed group of chemical oceanographers in Canada is the group at the Université du Québec à Rimouski. The group is part of a multidisciplinary section of oceanography whose major thrust is in chemical oceanography. Six marine chemists have been appointed since 1972, most had no previous experience in chemical oceanography. In the ensuing 3 years a program of studies has been worked out that is concerned with aspects of the chemistry of the St. Lawrence Estuary. At present research and courses to the masters level are offered. Close liaison and cooperation is maintained with the Chemical Oceanography Division of the Atlantic Oceanographic Laboratory which also has a program in the Gulf.

Several topics are covered in the program. Sources, sinks, and modes of transport of suspended particulate matter are studied in the St. Lawrence Estuary, including work relating suspended particulate matter to the circulation of the Saguenay Fjord.

The particulate matter studies also encompass the composition of suspended matter and its interaction with trace metals. Research is carried out on the effects of heavy metals on marine algae, and on the sorption of cadmium by uni-

cellular algae cultures in the laboratory. Part of the work is associated with problems of pollutants, in particular with oil pollution in which field there are studies of the rate of formation and physical properties of water–oil emulsions, and of the formation of emulsions in the presence of grains of sediment.

The interest of the group extends outside the Gulf. The mechanisms governing the steady-state distribution of sulfur in the oceans are studied, and a study of the relationships between the trace metals and water masses on the Scotian Shelf has been pursued in collaboration with colleagues from the Atlantic Oceanographic Laboratory.

Department of Oceanography, Dalhousie University

Research in chemical oceanography at Dalhousie is conducted by two chemical oceanographers who have working with them three M.Sc. and seven Ph.D. candidates. The program was begun in 1965 with one marine chemist and a second was added to the staff of the Department in 1972.

A considerable part of the research is of the type described under the headings solution chemistry and surface chemistry in the previous chapter. That is, it has to do with the kinetics of chemical reactions and similar problems. There is little work of this type carried out in other laboratories. Some projects under investigation are: the behavior of aragonite and calcite in sea water, and the variation of the solubility of calcite with temperature, pressure, and sea water composition; the effect of pressure on the solubilities and solution kinetics of silica and clays in sea water; the sorption of organically bound transition metals on silica surfaces; bubble populations and their correlation with organic concentrations, and turbulence in the upper 30 m of the sea.

A study of various aspects of the carbon cycle in the ocean has occupied the group's attention for several years. In particular, work has been carried out on the spatial distribution of particulate organic carbon and its relationship to the patchiness of plankton, and on the dynamics and utilization of dissolved organic carbon.

The group is also involved in studies of transport phenomena and interactions at the sea surface. Two current projects of the latter type are the analysis of transition metal concentrations and the flux of these complexes from bulk sea water to the atmosphere, and a study of the photochemical reaction of amino acids in sea surface films.

Atlantic Oceanographic Laboratory

The Chemistry Division of the Atlantic Oceanographic Laboratory is the largest group of chemical oceanographers in Canada. It is comprised of eight scientists plus supporting technical staff. The division was formed in 1970 from a few marine chemists who had been loosely attached to the major research programs in physical oceanography. The division has grown in strength and competence and now has a viable research program and staff.

The division's program is largely concerned with the distributions, cycles, fluxes, and mechanisms that control the organic and inorganic materials in the marine environment. The research encompasses studies of processes and mechanisms controlling the inorganic constituents of sea water; fluxes of gases across the air–sea surface; fluxes and origins of organic material in the oceans; petroleum residues in the marine environment; nutrients and biological/physical processes; stable isotope variations; and transport mechanisms.

A major objective at the present time is the development of an understanding of the chemistry of the Gulf of St. Lawrence. Many chemical features of the Gulf have been studied and their broad aspects understood. The work in the Gulf encompasses the distributions of nutrients and their relationship to the water masses; the natural levels and behavior of transition and heavy metals, and the extent to which man's activities has modified them; the distributions of temperature, salinity, oxygen, total dissolved carbon dioxide, carbonate, and total alkalinity; the stable isotope ratios O^{18}/O^{16} and C^{13}/C^{12} to characterize the water masses and study their mixing; the quantitative distribution and fluxes of suspended particulate matter; and the partition of trace metals between the dissolved and particulate phases and the assessment of oil pollution in the region. The program of research is a substantive one and occupies about 60% of the division's effort.

At larger scales the division undertakes studies of the Atlantic Ocean and of cycles on a global scale. A major project is a study of petroleum residues. Since 1971, the distribution of tar balls in the North Atlantic has been investigated, and, in the Gulf of St. Lawrence the concentration levels of petroleum residues has been monitored since 1970. Measurements of the nutrient distributions in the Atlantic and their dependence on advection are carried out in collaboration with the physical oceanographers.

The chemical composition of sea water is

partly controlled by fluxes of materials into and out of the ocean and the division studies several aspects of these fluxes. A program has been initiated to measure gas exchanges between ocean and atmosphere and correlate them with the physical fluxes of momentum, energy, and water vapor. Part of the program will be undertaken in the arctic. Work has also been done on the extent to which atmospheric dust of continental origin could influence the halide composition of rain and snow, and on the halide transfer across the air–sea interface. Model studies of element geochemistry are carried out on global and local scales to determine the way in which the composition of sea water is controlled by precipitation, weathering, fall-out, run-off, and sedimentation.

Comments

1) The most evident feature of the Canadian program is its recent origin. All the groups have had to spend considerable effort just to set up the necessary laboratory facilities ashore and on board ship, and to acquire staff. Many new staff did not have extensive training in chemical oceanography, and experience in developing other disciplines in oceanography has shown that it takes between 5 and 10 years for groups to acquire experience, equipment, and the maturity of a vigorous and established scientific program. Taken as a whole the community of chemical oceanographers in Canada has not really got much further than establishing itself, and the individual institutions deciding on the direction of their research programs.

2) The buildup of chemical oceanographers has been more vigorous on the Atlantic seaboard than on the Pacific. Of the 24 chemical oceanographers, 18 are on the east coast. It is likely this impetus will continue for some time, particularly in the University institutes.

3) The problems posed by pollution have had a considerable influence on the subject matter studied by the chemists. This is understandable given the recent concern with the state of the environment, and considering that a large number of pollution problems required advice or research in the ocean's chemistry. The pollution problems have largely occurred in coastal areas and have focussed the work of the chemists on estuary and similar near shore problems.

4) It is worth reviewing briefly the geographical areas where the chemical programs are being carried out. The Department of Oceanography at Dalhousie, the Chemistry Division of the Atlantic Oceanographic Laboratory, and the Chemistry Division of the Ocean & Aquatic Sciences, Pacific Region, are all involved in aspects of the chemistry of the deep sea. The commitment is not high, and the Dalhousie group is the only one where deepsea studies, including work on the continental shelf, is the major part of the program. The program at Dalhousie is larger than indicated by the permanent staff of two chemists because of the number of Ph.D. graduate students. There is little work done in the arctic. At present there are only two research projects. The Beaufort Sea study undertaken by Ocean and Aquatic Sciences, Pacific Region, and a project on gas exchange with the atmosphere presently being planned by the Atlantic Oceanographic Laboratory in open leads in the Arctic Ocean. The majority of the effort in chemical oceanography is focussed on coastal inlets and estuaries, and, of these, the areas of Strait of Georgia and the St. Lawrence Estuary are where most of the work is being done.

5) One major task still facing chemical oceanographers is the development of analytical techniques, particularly techniques that can make the measurement in situ if this is possible. This raises the question of whether there are sufficient funds available to the marine chemists to acquire the sophisticated equipment necessary for modern analysis. It was found in the course of the study that the chemical oceanographer was not unduly held up by lack of equipment or funds for equipment. There is a general problem in the universities of acquiring funds within oceanographic departments for technical staff, which is being reviewed by a committee of the Canadian Committee on Oceanography. Ship facilities for the chemical oceanographers are reasonably satisfactory. There is no case for constructing a specialized ship for chemistry even considering the stringencies of chemical analyses at sea. There is a case, however, for giving more attention to provision of more suitable laboratory space that is equipped, or can be equipped, for chemical analyses, and provision of portable "clean" laboratory facilities on future ships. A significant advance has been the decision by the National Research Council to establish a Marine Analytical Centre at NRC's Atlantic Regional Laboratory. The center will provide a facility that "will assist marine scientists to fulfill their responsibility in matters relating to Analytical Chemistry," and in "developing agreed sampling procedures, reference materials, and standards."

Conclusions

Chemical oceanography in Canada is in an underdeveloped state compared to physical oceanography and biology. The most significant

advance has been the recognition of chemical oceanography in several of the oceanographic institutes as a discipline in oceanography to be pursued in its own right. There will always be a large element of chemistry, particularly if we include biochemistry, that will be done as part of biological and environmental programs, and in the oceanographic and biological laboratories we should expect to find one or two marine chemists who are an integral part of these programs. It is desirable to further develop the existing groups at the Université du Québec à Rimouski, Dalhousie University, the Atlantic Oceanographic Laboratory, and the Ocean and Aquatic Sciences, Pacific Region, as groups concentrating their efforts on exploring the chemistry of the oceans. Canada will then have two schools of chemical oceanography, one Anglophone and one Francophone, and one group on each coast in federal laboratories. As three of these laboratories are on the Atlantic coast the larger part of the chemical oceanography will be in the Atlantic area, which is commensurate with the amount of coast line and coastal utilization, where most environment problems arise. Chemical oceanography at the Ocean and Aquatic Sciences, Pacific, should be much stronger than it now is, if it is to meet the needs for chemical oceanographic research in the Pacific and the coastal waters of the west coast.

A great range of problems present themselves when considering what needs to be done to understand chemical behavior in the oceans. The Canadian program cannot cover all aspects and the laboratories should be selective in choosing their fields of endeavor. In the course of this study there has not been apparent any particular field of basic research in the ocean's chemistry that stands out above others and warrants a national effort, either because of promise in advancing knowledge, or because of its practical significance. As a result we have deliberately refrained from making such recommendations in the report. If Canada is to have available the most modern knowledge of chemical oceanography for practical purposes the best strategy is to develop science of significance in these laboratories, and ensure that there is adequate contact with the work being done elsewhere in the world.

The greater part of the program is carried out in coastal waters and in the next few years this emphasis will increase with the Gulf of St. Lawrence and Strait of Georgia projects. These areas are where most of Canada's coastal population lives. The coastal zone is also the area where modification of the ocean's chemistry by industrial and municipal effluents is most important at the present time. In fact it is just these considerations that have led to this concentration of activity. There is not a great deal of effort left over and the Canadian program on the continental shelves and in the deep ocean is not well developed.

On the continental shelves and along their edges are some major fisheries. In the first part of the report on physical oceanography the necessity of increasing the effort in multidisciplinary studies over these areas was discussed with a view to long-term management and prediction. The same considerations apply to research in chemical oceanography for fisheries as applied to physical oceanography. A large part of the problem in predicting fisheries is concerned with supply of nutrients, the chemistry of primary production, and other chemical processes that affect the growth of life in the sea. This application of knowledge of the ocean's chemistry has tended to be submerged by the concerns about the effects of pollution. If we are to expect to accomplish fisheries management, and include in this prediction based on changing oceanographic conditions, then we will also have to describe and understand the mechanisms behind the changes in those chemical parameters of importance to fisheries. In the long term, it is going to be necessary to devote more effort than at present to studies directed at the consequences of natural changes in the ocean's chemistry on the fisheries, particularly over the areas of the continental shelf.

It is desirable that Canada contribute to work on the deep ocean in a more substantial way than at present. Canadian chemical oceanographers have been very active on international bodies such as the Group of Experts on the Scientific Aspects of Pollution (GESAMP), in drafting criteria for international legislation mitigating pollution (Inter-Governmental Maritime Consultative Organization), and in working out proposals for monitoring of pollutants (Intergovernmental Oceanographic Commission). Canadians have played a credible role in this work and it is essential that they continue to do so if Canadian views on policy of management of the oceans are to be heeded. Considerable credibility results from work in our coastal areas but there are also deepsea aspects of the pollution problem. We should expect to maintain a reasonable contribution to the chemical behavior in the deep sea in support, not only of our credibility, but also our ability to formulate intelligent policy. Apart from the pollution problems we have also an interest in deepocean chemistry from the point of view of fisheries, as chemical processes there influence conditions over the continental shelves.

An increase in effort in the present economic climate is not advocated as there are more pressing problems in the coastal area. However, on completion of the Gulf of St. Lawrence and the Strait of Georgia projects, some effort should be redeployed into the deep sea.

There is an obvious lack of chemical oceanographic programs in the arctic except for short-term environmental assessment projects being carried out in the Beaufort Sea and James Bay. Lack of knowledge of the chemistry of arctic waters shows in documents from conferences and in terms of the chemical oceanographic content of present environmental assessment projects. Generally, the work has been limited to obvious pollution studies such as oil or to measurements of some of the more fundamental parameters such as nutrients. We are, therefore, learning little of the chemistry of arctic waters and regrettably not acquiring the necessary experience in the techniques and procedures of performing chemical measurements in the difficult conditions which prevail in northern waters. Considering Canadian interests in the arctic, the laboratories should be stimulated to sponsor long-term studies of the chemistry of the waters of the Archipelago, the Arctic Ocean and Hudson's Bay and Strait. A modest program in chemical oceanography could well be inaugurated immediately within the Ocean and Aquatic Sciences Directorate, Pacific, that already has developed major expertise in over-ice operations in physical oceanographic studies. Some major differences between the chemistry of waters of the arctic and the chemistry of temperate waters will be in the area of biochemistry. This is an important part of the whole spectrum of chemistry that should be pursued in the arctic.

Response by Canada's chemical oceanographers to the problems of pollution has been more than adequate. Much of the research being undertaken in the laboratories is oriented to some aspect of preservation, or assessment, of the quality of the marine environment. We will continue to be concerned with pollution problems, and, as a nation with large fisheries interests, we must ensure that at any point in time the effort devoted to them is adequate.

It is a source of concern to chemical oceanographers that we are not doing much to collect base-line data that describe the natural state of the waters around the Canadian seaboard. At the present time most of these waters have not been the recipients of anthropogenic materials. We are in the fortunate position of having the opportunity to establish the natural concentrations of many substances whose toxicity concern us if they accumulate in the oceans, but are not doing so in a systemic way. Such data will be invaluable 20 years hence. Of course such a project does not seem to have any urgency at present, although it really is if we are to acquire data before the increasing activity around our coasts begins to have effect. The collection of such data has the consequence that we can assess any changes in the ocean, and also avoid the situation of not knowing whether concentrations are due to anthropogenic input or due to natural causes. The latter type of situation has caused considerable difficulty in making intelligent decisions about pollution in the past. There is an effort being made by the Pacific Environmental Institute to collate all data from the fjords of British Columbia. A program of collecting baseline data needs to be carefully considered at the outset and it is desirable to have a national committee to consider what should be done.

Recommendations

1) The chemical oceanographic groups at the Ocean and Aquatic Sciences, Pacific Region; the Université du Québec à Rimouski; the Department of Oceanography, Dalhousie University; and the Atlantic Oceanographic Laboratory should be further developed as centers of chemical oceanography in Canada.

2) In the immediate future the Canadian program should be expanded to include more work on the continental shelves.

3) One center of chemical oceanography should include work on arctic waters as a regional focus for its program.

4) A program of acquiring baseline data in waters adjacent to Canada should be inaugurated and a national committee should be set up to design and progress the program.

5) Canada should at least continue its efforts devoted to deep-ocean problems at the present level of effort. On completion of the Strait of Georgia and the Gulf of St. Lawrence projects more effort should be given to deepsea and global aspects of the ocean's chemistry.

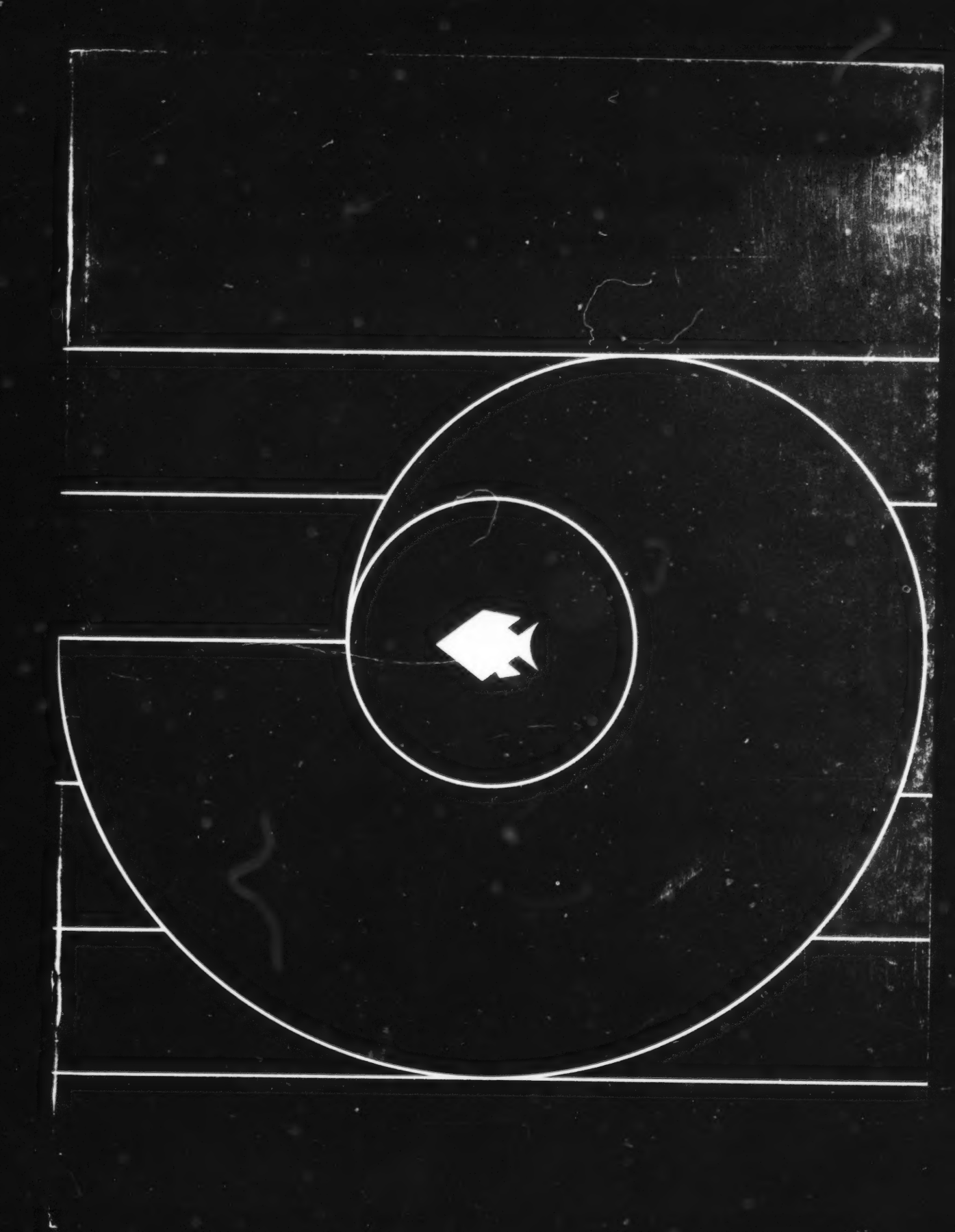
6) More attention should be paid to those aspects of the ocean's chemistry, other than the pollution problems, that are important to fisheries prediction and to an understanding of marine ecology.

7) Joint projects with chemical oceanographers of other countries should be expanded as the Canadian program matures. The laboratories should continue to develop close liaison with

laboratories in other countries including a program of visiting scientists from and to Canada.

Acknowledgments

It would not have been possible to write this report without the willing cooperation of many of Canada's chemical oceanographers. I particularly wish to thank Drs P. Wangersky, M. Waldichuk, and the chemical oceanographers at the University du Québec à Rimouski for valuable discussion; Dr C. S. Wong, who provided me with a review of chemistry on the west coast; the staff of the chemical oceanography division of the Atlantic Oceanographic Laboratory, who undertook a review of chemical oceanography and an assessment of potential future work; Drs E. M. Levy and E. P. Jones, who embodied this review in a report, part of which constitutes the third chapter; and Drs G. Pickard and A. Walton, who reviewed the manuscript report very carefully.



La série de Rapports de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada comprend des comptes rendus d'études et de symposiums et des rapports spéciaux.

Rapport n° 1 — (The Way Ahead) Colloque marquant le 75e anniversaire de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada.

Rapport n° 2 — L'Office des recherches sur les pêcheries du Canada — soixante-quinze années de réalisation. Par W. E. Ricker.

Rapport n° 3 — Science pour les pêches canadiennes dans les mers du plateau continental. Par H. A. Regier et F. D. McCraken.

Rapport n° 4 — Océanographic biologique au Canada: Perspective et revue. Par T. R. Parsons.

Rapport n° 5 — Natura Naturans: Un colloque sur le paradigm de Fry.

Rapport n° 6 — Développement d'une aquiculture structurée, avec perspective canadienne. Par G. I. Pritchard.

Rapport n° 7 — Science pour les pêches dispersées de l'intérieur canadien. Par H. A. Regier.

Rapport n° 8 — Océanographie physique au Canada. Par C. R. Mann.

Publié par

Environnement Canada
Service des pêches et des sciences de la mer

Bureau du Rédacteur
116 Lisgar, Ottawa K1A 0H3

Published by

Environment Canada
Fisheries and Marine Service

Office of the Editor
116 Lisgar, Ottawa K1A 0H3

No de catalogue Fs 97-10/9
Prix: Canada: $3.00 Autres pays: $3.60
ISBN 0-660-00532-8
Prix sujet à changement sans avis préalable
Imprimerie Donald F. Runge Limited, Pembroke, Ont., Canada
Contrat 02KT.KF801-6-0375

RAPPORT DE L'ORP

OCÉANOGRAPHIE CHIMIQUE AU CANADA[1,2]

C. R. MANN

Laboratoire océanographique de l'Atlantique
Institut Bedford d'océanographie, Dartmouth, N.-É.

Table des matières

2 RÉSUMÉ/ABSTRACT

2 INTRODUCTION

3 OCÉANOGRAPHIE CHIMIQUE, L'ENVIRONNEMENT ET LA BIOLOGIE

- Processus physiques
- Qualité de l'eau
- Biologie

5 PROBLÈMES DE CHIMIE DES OCÉANS

- Chimie fondamentale
- Composition de l'eau de mer
- Transport des matériaux dans l'environnement marin
- Développement de méthodes

14 LE PROGRAMME CANADIEN

- Sciences océaniques et aquatiques, région du Pacifique
- Institut d'océanographie, Université de la Colombie-Britannique
- Institut de l'environnement du Pacifique
- Section d'océanographie, Université du Québec à Rimouski
- Département d'océanographie, Université Dalhousie
- Laboratoire océanographique de l'Atlantique
- Commentaires

17 CONCLUSIONS

19 RECOMMANDATIONS

19 REMERCIEMENTS

[1] Version française de « perspectives », publié dans le *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 1976, 33(6): 1451–1469.

[2] Le présent rapport a été préparé, sous contrat, à la demande de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada qui ne partage pas nécessairement le point de vue de l'auteur.

Résumé

MANN, C. R. 1976. Océanographie chimique au Canada. Rapport de l'ORP No. 9: 1–19.

L'océanographie chimique est la plus jeune des disciplines de la science de l'océanographie au Canada. C'est seulement au cours des dernières années qu'on a formé des groupes de chimistes dans les institutions océanographiques canadiennes. Pour plusieurs de ces chimistes, l'océanographie chimique est chose nouvelle; ils sont encore à développer leurs connaissances et à classifier les problèmes de recherche en océanographie chimique pouvant être étudiés au Canada.

Les problèmes que pose la pollution ont accéléré le développement de l'océanographie chimique et ont également eu une influence considérable sur le choix des sujets d'étude par les chimistes. C'est aussi à cause de la pollution qu'on a concentré ses efforts sur les problèmes des estuaires et de la zone côtière. Cette tendance se poursuivra aussi longtemps qu'on puisse le prédire. Il est souhaitable que le programme canadien s'élargisse pour inclure les études dans l'Arctique et sur les plateaux continentaux, et on devrait s'efforcer d'établir des lignes de base dans les eaux qui entourent le Canada.

On devrait donner plus d'importance aux études en océanographie chimique en rapport avec les pêches, et l'océanographie des profondeurs ne devrait pas être négligée.

Il serait illusoire pour le Canada d'espérer pouvoir entreprendre des recherches sur tous les aspects d'un sujet aussi complexe que l'océanographie chimique. Au présent stade de développement, la meilleure stratégie est d'être sélectif, de développer une science d'importance dans les laboratoires, tout en étudiant les problèmes pratiques, et de s'assurer qu'on maintient suffisamment de contacts avec ce qui se fait ailleurs dans le monde.

Abstract

MANN, C.R. 1976. Chemical oceanography in Canada. FRB Report No. 9: 1–19.

Chemical oceanography is the most recently developed discipline of oceanography science in Canada. Only in the last few years have groups of chemists been formed in Canadian oceanographic institutions. Many of the chemists are new to chemical oceanography, they are still in the processes of developing their knowledge and sorting out those aspects of research in chemical oceanography that should be pursued in Canada.

The problems posed by pollution have accelerated the development of chemical oceanography and have also had a considerable influence on the subject matter studied by the chemists. Concern with pollution has led to a concentration of the effort in estuarine and coastal zone problems. This will continue into the foreseeable future. It is desirable that the Canadian program be extended to include Arctic studies, the continental shelves, and an effort should be made to acquire baseline into waters around Canada.

More attention should be given to chemical oceanographic studies in support of fisheries, and the oceanography of the deep sea should not be neglected.

Canada can not hope to undertake research in all aspects of such a complex subject as chemical oceanography. The best strategy at the present stage of development is to be selective, develop science of significance in the laboratories as well as addressing practical problems, and to ensure that there is adequate contact with work done elsewhere in the world.

Introduction

Cette étude a été entreprise à la demande de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Elle a pour objet d'évaluer l'efficacité et la suffisance du programme canadien en océanographie chimique et de faire des recommandations sur la façon de l'améliorer, ayant à l'esprit sa valeur potentielle pour la gestion des ressources. L'océanographie chimique est la plus jeune des disciplines de la science océanographique au Canada. C'est seulement au cours de ces quelques dernières années qu'on a établi des groupes en océanographie chimique et que des semblants de programmes commencent à émerger. Pour la plupart de ces scientifiques, l'océanographie chimique est chose nouvelle; ils en sont encore à développer leurs connaissances et à classifier ces aspects de la recherche qui devraient être étudiés. Comme résultat, il n'a pas été facile d'identifier des directions spécifiques suffisamment prononcées pour justifier leur poursuite de préférence à d'autres. On est arrivé plutôt à la conclusion que ce serait une erreur à ce stade-ci d'imposer de telles restrictions au développement des programmes de recherches fondamentaux. La tâche immédiate est de consolider le développement de la recherche fondamentale dans les groupes actuels, d'améliorer la formation dans les universités et de développer une compétence permettant de résoudre les problèmes pratiques qui impliquent une connaissance des processus chimiques dans les océans.

Cette étude s'est limitée aux scientifiques dont les programmes portent surtout sur les processus chi-

miques dans les colonnes d'eau. On néglige ainsi deux groupes importants : ceux dont l'intérêt est confiné à la chaîne alimentaire et les autres intéressés surtout à la géochimie sédimentaire. L'océanographie chimique, telle que nous l'entendons dans ce rapport, est donc limitée à l'hydrosphère.

Dans une première section, nous donnons une brève esquisse de la multitude de façons dont on peut utiliser les connaissances de la chimie de l'océan. Dans la section suivante, nous passons en revue les problèmes fondamentaux. Les troisième et quatrième sections contiennent une description du programme canadien, nos conclusions et nos recommandations.

Océanographie chimique, l'environnement et la biologie

La plupart des scientifiques et des ingénieurs qui s'occupent de l'océan ont de temps à autre besoin de connaissances sur la chimie de l'océan, ou, s'ils ne possèdent pas ces connaissances, doivent avoir recours à un océanographe chimiste. Les sels dissous, qui donnent à l'eau de mer son caractère, ont une influence fondamentale sur les processus physiques de la mer. Les oligo-éléments et la matière organique jouent un rôle sur la vie dans les océans. De faibles changements dans la concentration des sels dissous avec la profondeur déterminent en partie la stratification de densité de l'océan et, de cette façon, la réponse physique de l'océan aux forces qui agissent sur lui. Les processus de la vie, la photosynthèse, la croissance et le métabolisme sont intimement liés à des caractéristiques telles la disponibilité des substances nutritives et la présence d'oligo-éléments. Dans bien des cas, en particulier pour ce qui est des constituants organiques de l'eau de mer, les processus de la vie eux-mêmes modifient la chimie de l'océan.

Depuis quelque temps, le déversement dans l'océan de produits chimiques provenant d'activités industrielles et domestiques nous fait craindre une détérioration de la qualité des eaux de l'océan, en particulier dans les estuaires et le long de la côte près des concentrations urbaines. On a fait appel à nos connaissances chimiques actuelles afin d'évaluer et de contrôler ces changements, et on continuera de le faire. Ce contrôle peut être effectué par réglementation gouvernementale et on a continuellement recours aux océanographes chimistes pour la préparation d'une législation nationale et internationale.

Processus physiques

On a largement utilisé la description de la distribution des éléments chimiques dans les océans dans l'étude de la circulation et des processus de mélange. Les données sur la salinité, i.e. les concentrations de sels dissous, ont été essentielles à la fois pour la description du champ de densité à partir duquel on peut calculer la vitesse et la direction des courants, et pour la détermination du trajet des masses d'eau à mouvement lent. On y a réussi grâce à la découverte de Dittmar (1884)[3] à l'effet que les sels dissous étaient présents dans les mêmes proportions partout dans les océans. Les travaux de Dittmar conduisirent à une méthode rapide de détermination de la salinité par titrage de la chlorinité, d'où l'on peut calculer la salinité. Sans cette technique, on n'aurait jamais pu recueillir les grandes quantités de données requises. Récemment, des méthodes électrochimiques ont remplacé le titrage dans la mesure de la salinité.

L'oxigène et les substances nutritives, phosphates, nitrates et silicates ont également été utilisés dans les études sur l'advection et le mélange. L'oxygène a été particulièrement utile dans la détermination des temps de résidence de l'eau dans les bassins à mesure qu'il est utilisé par les processus biologiques. Les calculs quantitatifs d'advection et de mélange faits à partir de ces paramètres chimiques présentent des difficultés, étant donné que les concentrations sont fonction de l'utilisation biologique et autres processus encore mal compris. L'alcalinité et la concentration en acide carbonique total sont d'autres paramètres chimiques permettant de suivre le mouvement de l'eau dans les régions de remontée d'eaux profondes et dans les estuaires.

L'introduction de méthodes d'analyse par radio-isotopes offre la possibilité d'étudier les processus physiques en se basant sur la distribution des radio-isotopes artificiels et naturels. Pour étudier son mouvement, on peut marquer l'eau avec divers isotopes dont l'utilité dépend de leur origine et de leur période. Le strontium-90, un isotope largement répandu à la surface du globe à la suite des retombées qui ont résulté d'essais d'armes nucléaires, est un bon exemple d'un isotope pouvant servir à marquer les masses d'eau. Le radon (Rn^{222}) est un autre exemple d'un isotope pouvant être utilisé pour estimer la diffusion tourbillonnaire verticale dans l'eau du fond en contact avec le plancher de l'océan d'où il est libéré dans la colonne d'eau par suite de la désintégration de son parent, le radium (Ra^{226}). Certains isotopes « conservateurs » stables peuvent nous fournir des renseignements sur le mélange et l'advection dans l'eau. Ce sont entre autres l'hélium-3, le deutérium et le tritium. Un avantage unique de l'hélium-3 est d'être produit par dégazage du manteau dans les régions de l'océan où les crêtes se déploient activement; il peut donc servir comme traceur de mélange « local ». Il s'est développé un potentiel considérable pour l'utilisation de plusieurs de ces nouveaux traceurs dans les études des processus de

---

Dittmar, W. 1884. Report on researches into the composition of ocean water collected by H.M.S. *Challenger* during the years 1873–1876. *Dans* J. Murray [ed.] Report on the scientific results of the voyage of H.M.S. Challenger : Physics and chemistry, HMSO, London, Vol. I, pt. I.

circulation et de mélange. Quelques-uns peuvent être utilisées pour vérifier les modèles de la circulation océanique en régime d'équilibre et d'autres pour nous renseigner sur les changements en temps réel. Le succès de ces applications dépendra cependant de notre compréhension du comportement chimique du traceur en question dans les océans.

La composition chimique de l'eau de mer détermine également ses propriétés physiques, i.e. le point de congélation, la chaleur spécifique, la conductivité, l'équation de régime (p,v,t), et l'absorption du son. Il est essentiel de connaître ces propriétés pour la conception, par exemple, de systèmes sonar dont la performance est affectée par l'absorption du son, et pour les calculs de stabilité en océanographie physique, qui requièrent une connaissance de l'équation de régime. Il reste encore dans ce domaine plusieurs problèmes à résoudre.

Les processus d'échange entre les sédiments et l'eau qui les recouvre ont une influence sur l'état chimique à la fois du sédiment et de l'eau. En outre, étant donné que les sédiments résultent de la déposition de matériaux terrestres et détritiques dans l'eau de mer, les réactions qui se produisent dans le processus de sédimentation déterminent en partie la composition sédimentaire. L'océanographie chimique peut aider à l'exploration des ressources géologiques marines. Les études de la distribution et de la composition chimique des nodules de manganèse (riches en Ni, Mn, Cu et Co), ont conduit au développement d'opérations minières en eau profonde. L'application commerciale de la détection des gaz d'hydrates de carbone dans les sédiments et dans l'eau de mer a été utilisée pour détecter des nappes de pétrole et de gaz naturel. Ce type d'application est encore dans son enfance.

Les processus chimiques de l'océan peuvent également affecter l'atmosphère par échanges à travers la surface de la mer. L'échange de CO_2 entre l'océan et l'atmosphère est l'interaction à grande échelle la plus importante. Le degré auquel l'océan peut absorber l'augmentation de CO_2 atmosphérique causée par les activités humaines dépend de cet échange. On craint que cette augmentation de CO_2 puisse entraîner des changements climatiques.

Qualité de l'eau

La crainte d'une détérioration de la qualité de l'eau de mer par introduction de produits de contamination tout autant que par des processus naturels a stimulé, au cours de la dernière décennie, beaucoup de travaux sur la nature et les effets des produits de contamination, et sur les mesures à prendre pour en atténuer les effets. Les effets des produits de contamination sont déjà évidents dans les estuaires et les petites baies sur les rives desquels sont situées des industries et de grandes populations. Nous n'avons pas encore de preuve d'une pollution massive de l'océan, mais il y a suffisamment d'inquiétude à ce sujet pour justifier des mesures en vue d'un contrôle international. Un accord nécessite des négociations et, une fois l'accord signé, les organismes gouvernementaux appliquent les règlements. Tout cela représente un effort substantiel.

Les produits de contamination potentielle sont nombreux. On fabrique de nombreux produits non dégradables qui, une fois relâchés dans l'environnement, atteignent éventuellement l'océan, l'ultime puit. Les métaux lourds fournissent quelques-uns des matériaux les plus toxiques tels, entre autres, le mercure, le plomb, le cadmium et l'arsénic. Ces matériaux peuvent s'accumuler dans le corps des organismes et agir comme poisons cumulatifs. On a synthétisé quelques-uns de ces polluants, comme par exemple le DDT, certains éléments radioactifs et certains produits de pétrole raffiné, pour n'en nommer que quelques-uns.

Le pétrole est un polluant majeur. On estime à environ 6.0 millions de tonnes annuellement la quantité de pétrole que reçoit l'océan. Ces hydrocarbures peuvent être introduits dans l'océan par voies diverses : déversements accidentels de pétroliers ou de chalands-citernes; fuites de pipe-lines endommagés, trop-plein de soutes et rejets de lavage des soutes et des fonds de cale. L'effet des déversements sur les environnements côtiers a mis ce type de pollution en vedette. Comme les courants de surface transportent le pétrole de l'endroit où il a été déversé, des masses flottantes de résidus pétroliers se rencontrent sur de vastes étendues des océans du monde.

On a fait et on fera appel aux océanographes chimistes pour évaluer les effets des eaux de rejet de réacteurs nucléaires et du déversement de déchets radioactifs dans l'océan. Comme exemple, à mesure que le nombre de réacteurs augmentera, il faudra évaluer les effets des radionuclides de bas niveau déversés dans l'eau de refroidissement de réacteurs situés à la côte. De plus, on n'a pas encore résolu de façon satisfaisante le problème des déchets radioactifs de haut niveau. L'océan a été utilisé comme dépotoir. Les effets dépendent du type de réacteur, de sa localisation et d'autres facteurs. Les problèmes qui se rattachent à la localisation des réacteurs le long des côtes présentent un intérêt particulier pour le Canada, à cause des pêches côtières.

Plus que tout autre problème, la pollution de l'environnement marin nous a fait réaliser notre manque de compréhension de la chimie des mers : l'intérêt portant sur les changements de la qualité de l'eau dans l'océan est en réalité un intérêt portant sur les changements de la composition chimique des océans. L'évaluation de ces changements, réels ou potentiels, est une tâche qui retombe sur l'océanographe chimiste et qui exige une connaissance des niveaux de base produits naturellement, des voies de transmission vers

les océans, de la distribution par les courants océaniques et les processus de mélange, des processus sédimentaires, des processus d'équilibre chimique et des interactions biologiques. On a fait des progrès considérables vers la compréhension de tous ces processus qui constituent le cycle d'une substance chimique dans l'océan. Dans le cas de quelques constituants, le cycle complet est assez bien compris. Le manque de données de base est le problème le plus sérieux auquel les océanographes chimistes aient à faire face. Le besoin se fait particulièrement sentir quand on cherche des critères pour élaborer la législation visant à protéger l'environnement. Avant de pouvoir établir des critères raisonnables en ce qui a trait aux apports anthropogènes, il est nécessaire de connaître les conditions naturelles et leur variabilité dans le temps et dans l'espace.

Biologie

Pour le biochimiste et le biologiste de la mer, une connaissance de la chimie des océans est indispensable. Très souvent, l'un et l'autre doivent inclure des mesures de paramètres chimiques dans des expériences conçues pour étudier la chaîne alimentaire.

La distribution des substances nutritives a été l'un des premiers caractères chimiques des océans à intéresser le biologiste, car un approvisionnement de substances nutritives est nécessaire à la croissance. C'est dans les régions où la mer est riche en substances nutritives, souvent dans les endroits de remontée d'eaux profondes, que la vie marine se trouve en abondance. Les méthodes analytiques modernes permettent de connaître la distribution des substances nutritives. Il reste cependant des problèmes concernant le flux de substances nutritives dans les régions hautement productrices, de même que la régulation du champ nutritif par les processus biologiques. Ces problèmes doivent être résolus avant qu'on ne puisse réussir à construire des modèles prévisionnels dans le domaine des substances nutritives.

Tous les organismes requièrent, pour leur croissance et leur métabolisme, des métaux lourds qui se rencontrent à l'état d'oligo-éléments dans l'océan. Si l'équilibre naturel de ces éléments est dérangé, l'équilibre de la chaîne alimentaire peut également être dérangé. Certains métaux lourds sont toxiques et se concentrent à mesure qu'ils montent dans la chaîne alimentaire, de sorte que les animaux des paliers supérieurs peuvent être impropres à la consommation humaine. C'est seulement au cours des dernières années qu'on a développé des méthodes analytiques de mesure des métaux lourds. Leur développement a été associé à la crainte que l'activité industrielle puisse élever le niveau naturel d'éléments toxiques tels Hg et Pb. En conséquence, la chimie des métaux à l'état de traces est devenue l'un des principaux domaines d'interactions entre l'océanographe chimiste et le biologiste.

Les éléments radioactifs qui se trouvent dans l'océan peuvent avoir été introduits ou s'y rencontrer naturellement. Le développement de nos connaissances de leur comportement chimique dans les océans s'est avéré utile pour l'étude de la photosynthèse et pour des études aux traceurs de transfert de métaux à l'état de traces dans la chaîne alimentaire marine. Ici encore, il s'agit d'un domaine relativement nouveau, d'un potentiel considérable, et, comme les métaux à l'état de traces sont impliqués, est un domaine qui nous intéresse en rapport avec l'introduction dans l'océan de matériaux toxiques pouvant être assimilés par la chaîne alimentaire.

Il y a très peu de la chimie de l'océan qui ne soit pas intimement lié à la biologie de l'océan, et vice versa. Ces interactions sont trop étendues pour qu'on puisse en discuter davantage, et nous n'avons fait qu'esquisser trois domaines d'intérêt. Tous le sujet de la chimie organique des océans naturellement, est intimement lié à la biologie.

Nous traitons plus en détail des interactions entre la chimie, la physique et la biologie dans la section suivante, qui est une brève revue de la chimie fondamentale des océans.

Problèmes de chimie des océans[4]

Chimie fondamentale

Chimie des solutions — Pour bien comprendre les processus de l'océan, il faut une connaissance de la chimie fondamentale des solutions, se rapportant à la fois à l'eau et aux sels marins dissous, ainsi que des interactions entre les molécules d'eau et les divers constituants organiques et inorganiques. L'eau est une substance unique. Comparée aux autres composés de poids moléculaire semblable, l'eau possède des valeurs « anormales » pour plusieurs de ses propriétés chimiques et physiques, y compris son point de congélation et son point d'ébullition, ses chaleurs latentes de congélation et de vaporisation, son moment dipolaire, sa constante diélectrique et particulièrement son pouvoir comme solvant de substances polaires. Ces propriétés exceptionnelles résultent de la répartition des charges électriques dans les molécules et causent un enchaînement par liaison H dans le liquide. Le degré d'association des molécules d'eau ou « structure » est fonction de la température, de la pression et de la présence de substances dissoutes. Certaines substances dissoutes tendent à rehausser le degré d'ordre dans le liquide et à augmenter ainsi le degré

[4]Levy E. M., and E. P. Jones. 1975. Chemical oceanography in Canada: A review of the past and an assessment for the future. Fish. Mar. Serv., Bedford Inst. Oceanog. Rep. Ser. VI-R-75-1 : 29.

d'anormalité dans la solution, alors que d'autres substances agissent comme agent de rupture et augmentent la tendance vers les propriétés d'un liquide idéal. Les composés organiques solubles tendent de plus à être tensio-actifs et à modifier la rugosité superficielle de l'océan, sa réflectivité et les échanges de substances à travers les interfaces eau–gaz. Il se produit également une modification de la structure de l'eau aux interfaces entre l'eau et les bulles de gaz ou les particules solides en suspension.

La théorie thermodynamique existante de la chimie des solutions est raisonnablement bien développée pour des systèmes contenant relativement peu de composants et à une dilution « infinie ». Par contre, la théorie applicable aux solutions dans lesquelles il y a interactions appréciables entre le soluble et le solvant est inadéquate. L'eau de mer est un électrolyte à plusieurs composants extrêmement complexes contenant pratiquement tous les composés organiques et inorganiques existants à des concentrations allant d'environ 3.5% pour le sel commun à des traces dans le cas de certains constituants. Notre compréhension de la chimie des océans serait considérablement améliorée si l'on pouvait développer la thermodynamique des solutions au stade où elle pourrait être appliquée avec succès aux systèmes d'eau de mer.

Les coefficients d'activité des ions dans l'eau de mer, leur degré de complexation ou leurs états d'oxydation ne sont pas très bien connus. Il est donc impossible d'obtenir des constantes d'équilibre thermodynamique véritables pour les équilibres dans l'océan. La plupart des constantes d'équilibre, constantes de dissociation, produits de solubilité, etc., pour l'eau de mer sont fondés sur des mesures de concentration plutôt que d'activité. Comme résultat, on est loin de s'accorder sur les équilibres fondamentaux dans l'océan, un exemple notable étant le système carbonates–bicarbonates. Comme on ignore encore à peu près tout de la formation de types de substances organiques et de leurs activités, on n'a à peu près pas d'information concernant la thermodynamique des réactions organiques–organiques ou organiques–métaux dans l'eau de mer.

Une compréhension des effets de la pression sur la surface et sur les propriétés de l'eau et de l'eau de mer est essentielle à la compréhension de la thermodynamique, du mécanisme de réaction, et de la cinétique des réactions qui se produisent dans l'océan, surtout dans les profondeurs. On ne connaît à peu près rien des mécanismes et de la cinétique des réactions dans l'environnement marin. C'est un champ important de recherches futures.

Chimie des surfaces — On connaît relativement peu les aspects fondamentaux de la chimie des surfaces applicable aux océans. Des particules inorganiques (minéraux d'érosion, coquilles d'animaux, précipités chimiques, etc.) et des particules organiques (organismes et agglomérats organiques) en suspension se trouvent à certaines concentrations partout dans les océans et participent à la précipitation–dissolution, adsorption–désorption, échange ionique et diverses autres réactions superficielles. Le matériel particulaire en suspension transporté par les fleuves et rivières est souvent de nature colloïdale, et le changement brusque de salinité qui se produit quand la rivière se déverse dans la mer cause une floculation des colloïdes et une sédimentation. À mesure qu'elles descendent, les particules peuvent enlever des substances dissoutes de la colonne d'eau et les entraîner au fond où elles s'incorporent aux sédiments du fond, enlevant ainsi à la fois le matériel en suspension et tous matériaux dissous qui peuvent être adsorbés sur ces particules. C'est un important mécanisme de transport de substances dans la colonne d'eau et qui peut avoir une importance par rapport à l'immobilisation des polluants dans l'environnement marin. D'autre part, ce processus pourrait avoir des effets nuisibles, étant donné que les polluants adsorbés sur les particules peuvent être facilement absorbés par les organismes filtreurs. De plus, le mécanisme de sédimentation apporte les polluants aux organismes benthiques qui, sans cela, n'auraient peut-être pas été exposés aux polluants dans la colonne d'eau.

Le partage des substances entre les phases gazeuse et liquide quand les bulles de gaz sont en contact avec l'eau est un phénomène bien connu. Une méthode très sensible d'analyse des hydrates de carbone dissous dans l'eau de mer est fondée sur ce principe. Ce processus doit sûrement jouer un rôle très important dans la chimie de l'environnement océanique. Par ailleurs, c'est un exemple de plus d'une question fondamentale de la chimie des surfaces que l'on connaît très peu.

Interactions organismes–océan — Des études en laboratoire nous ont donné une idée de la nature des composés organiques dégagés durant la croissance des algues et des matériaux dégagés au moment de la mort de la désintégration des cellules. Par contre, les expériences impliquant des populations naturelles sont compliquées par la présence de bactéries et de zooplancton qui, non seulement consomment une partie du matériel organique algal, mais produisent également d'autres composés organiques comme conséquence de leur propre métabolisme. Cependant, de telles expériences sont de courte durée et les contenants expérimentaux ont une grandeur limitée, ce qui impose des contraintes considérables à la pertinence des résultats vis-à-vis des processus qui se produisent réellement dans l'océan. Afin de résoudre ce problème, il est nécessaire d'utiliser des systèmes à flot continu ou avec « gros sacs » au moins durant une saison complète (e.g. L'Expérience sur la pollution contrôlée de l'écosystème (EXPCE) dans l'inlet Saanich). Avant de comprendre la dynamique du

cycle du carbone organique dans les océans, il faudra étudier les quantités et les sortes de composés organiques libres que fournit annuellement la production primaire.

Des quantités substantielles de matière organique s'ajoutent à l'océan et y sont produites. Cependant, il y en a très peu qui s'accumule dans les sédiments et, semble-t-il, rien dans la colonne d'eau. On conclut donc en général que le matériel organique est utilisé par le phytoplancton et les microorganismes hétérotrophes dans la mer. On a émis l'hypothèse que les niveaux de composés organiques largement distribués dans la mer représentent les niveaux auxquels ils ont été réduits par activité bactérienne et au-dessous desquels ils ne peuvent supporter la croissance bactérienne. Le rôle de l'oxydation et des autres réactions chimiques susceptibles de jouer un rôle important dans l'enlèvement des matériaux organiques a besoin d'être étudié davantage.

On n'a pas accordé suffisamment d'attention aux composés organiques comme source d'azote et de phosphore et à leur rôle dans la chimie des substances nutritives. Par exemple, l'urée et les acides aminés aux concentrations présentes dans l'eau de mers sont des sources d'azote adéquates pour le phytoplancton. Des recherches sur les conditions optimales de croissance des algues seront importantes pour toute étude sérieuse des algues comme source de nourriture ou d'énergie.

Il y a présentement désaccord sur la question de la transformation de la matière organique dissoute en matière organique particulaire, et ce problème devra être clarifié davantage. On devrait déterminer l'importance de ce processus comme source nutritive, surtout si l'on parle de cultiver le zooplancton comme nourriture humaine ou pour les animaux supérieurs. L'absorption de matériaux organiques par des organismes benthiques tels que l'huître a d'importantes implications par rapport à leur alimentation et à la concentration possible de toxines.

La nutrition mise à part, on a démontré que des composés organiques spécifiques déclenchent des changements de comportement chez les organismes marins, changements probablement analogues aux effets des phéronomes chez les insectes et sur les sens du goût et de l'odorat chez les organismes terrestres supérieurs. Les substances qui ont un attrait sexuel et les composés qui provoquent l'alimentation ont d'importantes implications dans l'élevage commercial des formes marines. De plus, un emploi judicieux d'agents sensoriels peut servir au contrôle des compétiteurs ou des prédateurs en aquiculture. Tout le domaine des « agents sensoriels chimiques » et des « ectocrines » dans l'eau de mer est extrêmement important et mérite sérieuse attention.

On connaît très peu des matériaux organiques libérés dans l'océan par le zooplancton, surtout en ce qui a trait aux composés contenant de l'azote et/ou du phosphore. Jusqu'à présent, il n'y a pas eu de travaux de publiés sur la nature de ces composés phosphorés organiques.

Composition de l'eau de mer

Sel de mer — Plusieurs composants du sel de mer montrent très peu de variation dans l'océan, alors que certains composants mineurs varient de cent fois d'un endroit à l'autre. Les concentrations relatives des ions majeurs du sel de mer sont remarquablement uniformes dans tous les océans. Parmi les six ions dominants, Cl^-, SO_4^{--}, Mg^{++}, K^+, Ca^{++} et Na^+, seules les concentrations relatives de Ca^{++} et de Mg varient d'une façon mesurable d'un endroit à l'autre. Cette uniformité dans la composition s'applique également à plusieurs composants moins importants de l'eau de mer.

Sauf pour les gaz dissous et certains oligo-éléments, on croit que presque toutes les variations de composition de l'eau de mer sont causées par l'enlèvement d'éléments à la surface par les organismes et la destruction subséquente au cours de la sédimentation. des particules produites par les organismes. Cela entraîne une variation verticale de concentration d'éléments biologiques de même que des variations horizontales dans les profondeurs de l'océan, liées à la remontée d'eaux profondes et à la circulation dans les profondeurs. La sédimentation des matériaux organiques cause également une variation marquée des éléments affectés par ces matériaux organiques dans les sédiments du plancher de l'océan.

En parlant de la composition de l'eau de mer, on doit se demander pourquoi la composition relative des constituants majeurs est si différente de celle des divers apports, des rivières en particulier. Nous ne connaissons pas beaucoup les mécanismes d'enlèvement de plusieurs de ces constituants. Dans bien des cas, ce ne sont que des conjectures et la plupart des hypothèses émises reposent sur des données inadéquates.

Éléments nutritifs — L'abondance des ions nutritifs, phosphates, silicates, nitrates, nitrites et ammoniac joue un rôle majeur dans le contrôle de la productivité de la mer. La plupart des problèmes concernant le rôle des éléments nutritifs dans l'océan ont été exposés avec la publication du volume « *The Oceans* » par Sverdrup, Johnson et Fleming au début des années 1940. Depuis ce temps, cependant, seul l'inventaire des silicates, des nitrates et des phosphates a été poursuivi de façon adéquate, la recherche étant axée sur le développement de protocoles d'analyse convenables et sur l'étude de la distribution dans le temps et dans l'espace des éléments nutritifs dans l'océan. Grâce aux auto-analyseurs et aux ordinateurs, ces études ont pu être considérablement élargies et la précision des méthodes de déterminations routinières

a pu être améliorée. En conséquence, les relevés actuels fournissent des séries uniformes de données pour des études à grande échelle des processus océanographiques.

Les études futures devront se concentrer sur le taux et la régulation des processus qui contrôlent et déterminent les caractéristiques des champs nutritifs, sur les formules mathématiques décrivant ces processus et sur la construction de modèles mathématiques prévisionnels. Ceci comprend également les taux d'absorption des substances nutritives par le plancton et le dégagement de substances nutritives par les bactéries et le zooplancton. Ces processus sont influencés par les facteurs du milieu tels que la lumière, la température, la pression, la stabilité de la colonne, en plus de facteurs biologiques tels que la biomasse, l'espèce et l'âge.

Des expériences en milieu contrôlé peuvent fort bien être la façon d'étudier les systèmes enzymiques complexes et les mécanismes de transport biologique dont dépend une pleine compréhension du rôle des substances nutritives et autres matériaux biologiquement actifs.

De plus, le processus de régénération des substances nutritives, c'est-à-dire la dynamique de la consommation et de la production d'oxygène, d'anhydride carbonique, d'hydrogène sulfuré, d'azote, d'hydrogène et de méthane est également contrôlé par les enzymes intracellulaires d'organismes marins. Si l'on veut faire des recherches dans ce domaine, il nous faut identifier l'enzyme ou le système d'enzymes contrôlant l'utilisation et la formation de PO_4^{-3}, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ et SiO_2. En outre, nous devons développer des méthodes analytiques permettant de mesurer les activités de ces enzymes et de déduire des expressions mathématiques du mécanisme régulateur en vertu duquel la lumière, le niveau de substrat, la température et la physiologie contrôlent leurs activités. On devrait accorder une attention particulière aux modèles des processus contrôlant le cycle des éléments nutritifs dans les régions de remontée d'eaux profondes, dans les profondeurs de la mer, dans les tourbillons oligotrophes de la pleine mer, dans les 10 cm supérieurs de la colonne d'eau, dans la couche néphéloïde près du fond et dans l'eau interstitielle des sédiments.

Matériaux inorganiques — Essayer tout simplement de comprendre quelles espèces et réactions chimiques se trouvent dans l'océan est un des importants problèmes de chimie de la mer. Pour la plupart des principaux ions de l'eau de mer, il n'y a pas suffisamment de données thermodynamiques et cinétiques concernant les réactions chimiques qui contrôlent leur concentration. Dans presque tous les cas, nous n'avons pratiquement pas d'information sur le rôle des matériaux inorganiques dans ces réactions. De plus, on ignore à peu près complètement les espèces chimiques réelles présentes en solution et en particules dans l'eau de mer. Ceci est particulièrement vrai des éléments mineurs et des métaux à l'état de traces, mais il existe encore des incertitudes dans les modèles qui tentent de décrire la formation de types de constituants majeurs. On connaît mal les effets sur ces processus des hautes pressions rencontrées dans les grandes profondeurs océaniques.

Il y a certainement des interactions majeures entre les produits dissous et les particules. Les particules dans les sédiments et en suspension près du fond, de même que les particules présentes dans la colonne d'eau peuvent altérer de façon significative la chimie de l'eau de mer et jouer un rôle dans la composition chimique des océans. Nous n'avons qu'une connaissance rudimentaire de ces effets.

Il est important, pour plusieurs raisons, de connaître les processus inorganiques impliquant les éléments mineurs et les oligo-éléments. Les répercussions sur l'océan des activités de l'homme sont en grande partie déterminées par le sort que subissent les éléments mineurs ajoutés à la mer. C'est ainsi par exemple que certains métaux lourds nous intéressent parce que potentiellement dangereux et parce que, à l'heure actuelle, nous ne pouvons prédire leur comportement chimique dans l'environnement marin. En ce qui concerne les éléments mineurs se trouvant à l'état naturel, certaines des réactions impliquant ces composants jouent un rôle significatif dans la formation de matériaux pouvant avoir une importance économique, tels que les nodules de manganèse et les dépôts de phosphates. Finalement, les éléments mineurs peuvent être utilisés comme indicateurs sensibles de processus biochimiques et géochimiques, pourvu qu'on connaisse suffisamment bien leur chimie dans le cas particulier de cette application.

Afin de comprendre les interactions entre l'océan et les milieux atmosphérique, sédimentaire et terrigène adjacents, il faudra étudier la distribution et la migration d'éléments et de composés individuels dans les diverses parties de la terre, et découvrir les principes qui règlent leur distribution, leur transport et leur sort. Nos connaissances de la distribution dans le temps et dans l'espace de certains constituants majeurs et de la plupart des constituants mineurs, des réactions chimiques auxquelles ils participent et des contrôles qu'ils exercent sur les équilibres ne sont pas suffisantes pour nous permettre une modélisation définitive de leur distribution ou une évaluation de leur signification géochimique. Comme résultat, il y eut très peu de données sur la distribution des éléments majeurs et mineurs d'incorporés dans les modèles de la circulation océanique. L'analyse d'isotopes stables de certains matériaux, l'oxygène en particulier, a cependant joué un rôle sous ce rapport et semble prometteuse pour l'avenir. De plus, les études sur les isotopes stables et les radionuclides de même que les ana-

lyses d'oligo-éléments seront sûrement importantes dans les travaux sur les interactions sédiment–eau et dans le dépistage de certains matériaux en circulation dans les milieux océanique, terrestre et atmosphérique.

Il est nécessaire d'adopter une largeur d'approche à la géochimie marine, réalisant qu'une étude exclusive des processus à l'intérieur des océans ne peut fournir l'information requise. En projetant les tendances futures, il faut donner beaucoup d'importance à l'étude des processus d'échange aux couches limites en plus des aspects classiques de l'océanographie chimique associés aux études de la circulation de l'eau. En résumé, quand on essaie de déterminer les domaines spécifiques requérant des études plus poussées, il faut bien se dire qu'il ne peut y avoir segmentation claire de chaque programme. Chacun doit entrer dans un schéma général de recherches visant à une meilleure compréhension des processus de transport dans l'environnement et des voies suivies par les substances chimiques naturelles et non naturelles.

Composants organiques — La constitution moléculaire de la matière organique dans l'océan est presque totalement inconnue. Ceci est dû à la grande variété, aux basses concentrations et à la courte durée de résidence de bien des composés organiques dans l'eau de mer. Il y a même désaccord présentement sur la quantité totale et la distribution du carbone organique dissous. Étant donné qu'il est impossible, à cause de la concentration relativement élevée des sels inorganiques, d'utiliser des méthodes conventionnelles d'extraction, de concentration, d'identification et de quantification, il n'existe de méthodes analytiques adéquates que pour quelques composés seulement. Le signalement d'un composé organique spécifique dans l'eau de mer est donc souvent un reflet de la méthodologie courante plutôt que de son importance dans l'océan.

On peut établir une base commune d'étude des composés organiques dans l'océan en supposant qu'elles ne diffèrent pas beaucoup de ceux que l'on rencontre sur la terre. Cependant, des substances terrestres aussi communes que les lipides, les hydrates de carbone et les acides aminés, se rencontrent dans l'eau de mer en quantités trop petites pour expliquer la grande partie de la matière organique présente. Il faut clairement caractériser la balance, appelée « gelbstoff » ou « substances humiques ».

L'interrelation entre la matière organique dissoute et particulaire est un autre domaine important. Bien qu'on ait supposé plusieurs processus selon lesquels la matière particulaire peut être produite à partir de la matière organique dissoute, on n'a pas encore fait de travaux sur les effets de la salinité, de la température et de la pression. La compression des minces couches superficielles et la rupture des bulles à la surface sont des mécanismes possibles qui devraient être étudiés, alors qu'il faudrait vérifier les rapports de formation de particules à partir de matériel organique dissous dans la colonne d'eau. Ces processus sont importants parce que la matière organique devient alors accessible aux organismes filtreurs et se prête à la colonisation par les microrganismes. De plus, les particules peuvent couler et être enlevées de la colonne d'eau par sédimentation.

On n'a pas encore pleinement évalué l'importance des fèces, des mues de zooplancton et autres « détritus organiques ». On n'a pas non plus complètement élucidé la question de matières particulaires « vivantes » versus « mortes ».

Transport de matériaux dans l'environnement marin

Échanges terre–mer — Le principal mécanisme d'entrée de matériel d'origine terrestre dans l'océan implique un transport par les rivières de matières dissoutes et particulaires. Les matériaux que contiennent le ruissellement et l'eau de rivière entrant dans les océans sont les produits d'érosion, les matériaux recyclés d'origine marine (retournant à la terre par voie des pluies) et les matériaux rejetés dans les cours d'eau à la suite d'activités humaines. En outre, plusieurs composés organiques synthétiques ont récemment été introduits dans les océans comme résultat d'activités humaines et industrielles. On devrait attacher beaucoup d'importance à l'étude des régions côtières qui reçoivent de fortes quantités de ruissellement d'eau douce et en particulier aux estuaires de grandes rivières où il nous faut connaître les apports de divers composants chimiques qui pénètrent dans ces régions ou qui en sortent. Une technologie analytique améliorée a permis récemment de recueillir quantité de données que l'on devrait utiliser pour mettre à la page la revue détaillée de la composition des rivières dans le monde effectuée en 1963. L'intérêt que suscite l'environnement depuis quelque temps exige des réponses à bien des questions concernant la décharge de composés inorganiques et métallo-organiques par l'eau douce. Les données de base existantes et leur interprétation nous permettent rarement de donner une réponse immédiate à ces questions.

On a également suggéré le drainage des terres comme source majeure de matière organique pour l'océan. Cependant, des études de la matière organique contenue dans les eaux du golfe Saint-Laurent indiquent que l'apport fluviatile de matériaux organiques peut être grandement surestimé. Une forte proportion de la matière organique transportée dans les rivières semble précipiter au point de rencontre de l'eau douce et de l'eau salée. Il faudra poursuivre en laboratoire des études sur les effets de l'augmentation de la force ionique sur l'agglutination des particules. L'enlèvement de l'environnement marin

de matériaux anthropogènes tels les hydrates de carbone halogénés, par précipitation des particules, est un processus qui vaudrait la peine d'être étudié. De plus, on a besoin d'études sur le terrain afin de déterminer si, en fait, les estuaires sont des sources majeures de matière organique pour l'océan. On devrait donc maintenir un bilan minutieux du carbone à la fois dans un réseau fluvial naturel et dans un réseau modifié par l'homme, dans le but de mesurer la quantité de matière organique fournie par la terre et par la mer aux estuaires.

Un second mécanisme d'introduction de matériaux d'origine terrestre dans l'océan implique le transport par le vent de particules et de gaz produits sur et au-dessus de la terre, et apportés à la surface de l'océan. Bien que ce mécanisme ne soit pas important comparativement à l'apport des rivières en ce qui a trait aux composants majeurs dans l'océan, il peut avoir une importance pour des composants à l'état de traces dans certaines régions, et il a certainement une importance pour certains matériaux produits par l'homme. Le simple fait qu'on puisse « sentir la terre » à bord de navires loin au large témoigne de l'existence du transport de matériaux terrestres par le vent. Il vaudrait bien la peine d'étudier de façon continue les matériaux et leurs concentrations dans l'atmosphère, surtout sous le vent de régions industrialisées, en même temps qu'un échantillonnage océanographique. Cela permettrait de déterminer l'importance de ce mécanisme de transport, surtout en ce qui a trait aux matériaux nuisibles à l'environnement.

Interactions air–mer — La surface de l'océan et ses interactions avec l'atmosphère représentent un domaine de recherches des plus importants. À échelle globale, la profonde influence de l'océan sur le temps et le climat s'exerce par l'intermédiaire d'interactions de l'atmosphère avec la surface de la mer. L'océan est une source importante de particules atmosphériques et est à la fois une source et un puits de composants importants de l'atmosphère. On a souvent dit que la chaîne alimentaire pour la vie marine commence dans le millimètre supérieur de l'océan. Étant donné que le temps de circulation atmosphérique est relativement court, l'aspect global aussi bien que local des interactions air–mer a une importance et une pertinence considérables. Il peut y avoir également des régions où les interactions air–mer sont d'un intérêt particulier par rapport à la position géographique septentrionale du Canada.

Il y a peut-être deux domaines dans lesquels l'océanographie chimique est importante pour l'étude des interactions air–mer. Le premier est le transport de matériaux à travers la surface de l'eau de l'océan. Plus précisément, quels sont les matériaux qui sont ajoutés à l'océan en provenance de l'atmosphère et quels sont ceux qui passent de l'océan à l'atmosphère? Quelle est la quantité de matériel transféré, et les échanges varient-ils avec le temps? Que peut-on apprendre de la dynamique moderne de la circulation du matériel entre les réservoirs continantal, océanique et atmosphérique? Et qu'est-ce que ces flux peuvent nous indiquer de l'histoire de la terre? Le second domaine porte sur l'étude de la surface elle-même de l'océan. C'est par la surface, après tout, que les matériaux passent. Il faut donc la comprendre si l'on veut comprendre les interactions air–mer.

Les matériaux peuvent pénétrer ou quitter la surface de l'océan de deux façons: à l'état de particules et à l'état de gaz. Les flux particulaires, par exemple, peuvent nous aider à comprendre les climats marins, étant donné que les particules peuvent former des noyaux de pluie. En outre, la qualité de l'air près des côtes dépend de ces particules, qui peuvent être une importante source de pollution si les eaux côtières sont polluées. On croit que le principal mécanisme de production d'aérosols marins est l'éclatement des bulles avec expulsion de goutelettes contenant des matériaux de la surface de la mer.

La nature de la micro-couche superficielle de l'océan joue sans doute un rôle important dans la détermination du transport de matériel entre l'atmosphère et l'océan. On croit que la surface est presque partout recouverte d'une mince couche organique (ordinairement pas une nappe), et que la concentration des matériaux à un millimètre ou moins de la surface diffère de celles des couches sous-jacentes. L'étude de la chimie de la surface elle-même a une importance égale sinon plus grande : quels matériaux sont présents, quelles substances peuvent être concentrées à la surface et quel est le rôle des microorganismes dans la production et la concentration de ces matériaux. On ignore encore si les matériaux particulaires, les polluants organiques ou peut-être les métaux à l'état de traces se concentrent dans la micro-couche superficielle. Comme certains de ces matériaux peuvent être biologiquement nuisibles et peuvent être transportés vers la terre par des aérosols marins produits par l'éclatement de bulles, la micro-couche superficielle est une région qui mérite d'être étudiée, tant pour elle-même qu'à cause de notre intérêt pour l'environnement. On sait également que les bulles peuvent absorber des bactéries et peut-être d'autres matériaux de la couche d'eau sous-jacente, et de les concentrer dans les aérosols qu'elles produisent. Elles peuvent donc être une source de maladies aéroportées et une source majeure de particules radioactives dans l'atmosphère à la suite d'accidents à des réacteurs nucléaires situés au large. Une considération de la surface de la mer et de la pollution ne doit pas exclure le pétrole. Cette question est tellement importante qu'il nous faut la traiter séparément ailleurs.

D'égale importance ou peut-être plus importante est l'étude des flux gazeux. Par exemple, l'usage de combustibles fossiles cause une augmentation signi-

ficative de la concentration d'anhydride carbonique dans l'atmosphère. Si le taux actuel d'augmentation de concentration de CO_2 se poursuit, on prédit qu'il en résultera des modifications majeures du climat terrestre. On estime que jusqu'à 40% du CO_2 produit par les humains va dans l'océan. À cause des phénomènes chimiques relativement compliqués qui se produisent au moment où il pénètre dans l'océan, il est difficile de prédire quelles seront les conséquences de l'augmentation d'absorption de CO_2. Certains chercheurs voient cette augmentation avec beaucoup de pessimisme à cause de modifications possibles à la fois du climat et de l'océan, et dans ce dernier cas à cause de l'importance du CO_2 dans les processus biologiques. Ce pessimisme, basé sur des conjectures et des extrapolations de données, n'est pas sans fondement. Il est clair cependant qu'il nous faudra faire beaucoup plus de travaux avant de produire des prédictions fiables. Les autres gaz qu'il est important d'étudier pour comprendre à la fois les processus naturels et la pollution comprennent l'oxygène, l'oxyde nitreux, le bioxyde de soufre et le monoxyde de carbone. En outre, les flux de gaz nobles nous aident à comprendre la circulation océanique et autres processus géophysiques, et peuvent nous éclairer sur l'histoire géologique de la terre.

Les échanges d'énergie, de moment et de vapeur d'eau sont intimement liés aux flux gazeux et à leur importance dans les interactions air–mer. Certains des travaux les plus avancés dans le développement technique permettant de mesurer ces flux ont été effectués au Canada. Il a été suggéré qu'on applique à la détermination des flux de particules et de gaz entre l'atmosphère et l'océan les idées et l'instrumentation raffinées mises au point pour ces travaux. On a utilisé des lasers pour détecter de très faibles concentrations de matériaux divers dans l'atmosphère. Comme on a présentement à sa disposition des lasers fonctionnant dans presque n'importe quelle région du spectre, de l'infrarouge à l'ultraviolet, on est en mesure d'espérer pourvoir mesurer le flux de presque n'importe quel gaz atmosphérique connu, organique ou inorganique, y compris ceux qui réagissent avec l'océan ou qui ne peuvent être identifiés dans l'océan. Le développement et l'expansion des techniques existantes et leur application à la détermination des flux gazeux seraient donc une étape naturelle et très importante à franchir pour la recherche canadienne en océanographie chimique.

On ne peut nier l'importance ou la pertinence d'aucun des sujets mentionnés plus haut : ce sont tous des domaines plausibles de recherches canadiennes sur les interactions air–mer. Ils se rattachent à la fois aux responsabilités du Canada comme pays maritime majeur ayant un intérêt dans les ressources du large et en termes de compréhension et de protection de notre propre environnement. Par ailleurs, comme les ressources destinées à la recherche dans les interactions air–mer ne sont pas illimitées, il faut être sélectif. Il est donc à la fois raisonnable et attirant de faire appel à l'expérience acquise lors de l'étude des flux d'énergie, de moment et de vapeur d'eau pour étudier les flux de particules et de gaz. L'étude des flux gazeux est particulièrement attrayante parce qu'elle promet de conduire à des techniques définitives permettant de répondre aux questions très importantes que nous avons posées. De plus, les mers polaires recouvertes de glace de façon intermittente peuvent être des régions où il se produit un important échange de gaz air–mer. Le fait que nos mers septentrionales étendues sont recouvertes de glace durant une partie de l'année est donc une raison particulière pour le Canada de s'intéresser aux interactions air–mer et aux flux gazeux.

Interactions sédiment–océan — L'interface entre l'océan et les sédiments benthiques n'est pas aussi tranchée que l'interface air–mer. C'est sans doute une région extrêmement complexe, impliquant un mélange d'eau de mer et de particules organiques et inorganiques partiellement suspendues. En outre, au moins dans les régions peu profondes, c'est une région de haute activité biologique. La chimie de cette région est unique en ceci qu'il s'y produit des interactions compliquées de réactions chimiques, de processus physico-chimiques et de mouvement mécanique de matière partiellement suspendue ou facilement transportable. Un exemple de ceci est la formation des nodules de manganèse qui passent des millions d'années à l'interface sans être enfouies dans les sédiments. Pour comprendre la chimie de l'interface océan–sédiments et pour apprécier son importance pour le reste de l'océan, il faut étudier les sédiments eux-mêmes. Ces derniers reflètent en effet les interactions océan–sédiments passées et, au moins pour les sédiments superficiels, jouent encore un rôle dans la chimie de cette région. Le caractère des sédiments qui s'accumulent en un point quelconque du plancher de la mer est étroitement lié à la distribution des éléments biologiquement utilisés dans la mer. Une bonne partie de nos connaissances des processus chimiques qui ont lieu dans la mer proviennent d'études de ces sédiments. Ils sont une preuve directe ou indirecte des apports qui entrent dans la mer et du recyclage qui s'y produit.

Deux composants majeurs prédominent dans les sédiments océaniques : les minéraux du limon provenant des continents, et le SiO_2 et le $CaCO_3$ provenant des parties dures d'organismes marins. L'opale s'accumule plus rapidement au-dessous des régions océaniques où se produit une remontée d'eaux riches en Si et où les diatomées et les radiolaires vivent en grande abondance. Comme l'eau de l'océan est sous-saturée par rapport à l'opale, les sédiments riches en opale se rencontrent presque seulement dans les régions d'accumulation rapide. Par ailleurs, le $CaCO_3$

est produit assez uniformément, mais tombe dans de l'eau qui est sous-saturée à certains endroits et sursaturée à d'autres. La distribution de l'opale et de la calcite dans les sédiments reflète donc étroitement la ségrégation horizontale d'éléments utilisés biologiquement dans les profondeurs de la mer. La détermination de ces matériaux dans la colonne d'eau et dans les sédiments est donc un bon indicateur des variations dans le temps et dans l'espace de la chimie de l'océan.

Plusieurs raisons militent en faveur de mesures de flux de divers matériaux à travers l'interface océan–sédiments. Dans leur retombée, les particules subissent une dégradation chimique et biologique dans la colonne d'eau et à l'interface océan–sédiments. Elles peuvent donc être un mode efficace de transfert à travers la colonne d'eau, tant pour les éléments nutritifs que pour les oligo-éléments. Inversement, le matériel des sédiments sous-jacents peut être dissous et transporté dans l'océan. On n'a que très peu de données sur ce dernier processus, probablement très important. De plus, les flux de gaz, comme par exemple l'hélium diffusant à travers les sédiments en provenance de l'intérieur de la terre, et le CO_2 et le CH_4 produits par décomposition microbienne de la matière organique à l'interface, ont besoin d'être étudiés : ils nous aideront à élucider des points concernant l'intérieur de la terre et les processus chimiques et biologiques au sein de l'océan.

Les sédiments des estuaires et des plateaux continentaux ont été, sous certains rapports, moins bien étudiés que les sédiments des profondeurs océaniques. Ils ont cependant une plus grande importance économique à cause des pêches et de la production pétrolière par exemple. Par suite de leur taux élevé de sédimentation, de leur plus grande variation de pH et de Eh, d'une bioperturbation plus active et de leur contenu en matière organique plus élevé, la chimie de ces sédiments est plus variée et devrait recevoir plus d'attention.

La détermination des processus océan–sédiments s'est faite presque entièrement à l'aide de mesures dans la colonne d'eau ou dans les sédiments. L'interface océan–sédiments est possiblement la région la plus intéressante à explorer; par ailleurs, son éloignement et surtout la facilité avec laquelle les sédiments peuvent être dérangés causent des difficultés majeures. C'est peut-être dans cette région plus que dans toute autre qu'on a besoin de mesures in situ. Le développement de tout type d'instrument permettant d'approfondir les processus qui ont lieu à l'interface aurait une grande valeur.

Glace de mer — Les changements chimiques et physiques qui se produisent lors de la congélation de l'eau de mer et la fonte de la glace de mer sont un sujet d'importance pratique directe. Au cours du processus de congélation, le sel est rejeté des cristaux de glace en formation. Bien qu'une partie du sel soit emprisonnée dans des poches de saumûre à l'intérieur de la glace de mer, la balance entraîne une augmentation de salinité et de densité dans la couche d'eau sous-jacente qui a tendance alors à descendre. Comme résultat, le sel s'éloigne de la zone de congélation. Quand la glace fond, l'eau douce retourne au système ou alternativement, la glace de mer s'éloigne de la région où elle a été formée, et il en résulte un transport d'eau de faible salinité et une source de froid. Cette séparation de l'eau de mer en composants plus salés et moins salés, de même que leur mouvement est un sujet qui intéresse particulièrement le Canada à cause de ses vastes régions côtières et arctiques soumises à ces processus durant la plus grande partie de l'année. De plus, les biocoenoses particulières à l'eau de glace peuvent donner naissance à des conditions chimiques très différentes de celles que l'on rencontre en pleine mer.

Développement de méthodes

Nous avons insisté plus haut dans ce rapport sur l'insuffisance de la méthodologie existante comme étant l'un des principaux obstacles au progrès de l'océanographie chimique. La situation s'est quelque peu améliorée à la suite de récents développements dans les protocoles et l'équipement analytiques. Il nous faut cependant pousser plus loin le raffinement des méthodes de collecte d'échantillon séparés d'eau, de gaz, de sédiments et d'organismes de l'environnement marin et de leur analyse dans des laboratoires en mer ou à terre; le développement d'instruments in situ pouvant être abaissés dans la colonne d'eau et capables de poursuivre en continu l'échantillonnage et l'analyse, et de transmettre les données au navire où les profils des paramètres mesurés apparaissent sur écran et sont enregistrés; le développement de systèmes utilisés à partir de bouées ancrées ou dérivantes et d'installations submergées pouvant être suivies de façon continue de la terre ou visitées périodiquement; et finalement le développement de systèmes de télémesure pouvant être utilisés depuis un aéronef ou des satellites pour mesurer les paramètres océanographiques.

La plate-forme principale pour des travaux en océanographie chimique continuera, du moins pour un avenir prévisible, d'être le navire de recherches, et les procédures analytiques pouvant être effectuées en mer devront être développées davantage. Il faudra se rappeler que les besoins pour l'océanographie chimique à bord d'un navire sont différents de, et parfois même incompatibles avec ceux des autres branches de l'océanographie. Cela peut être un obstacle jusqu'à un certain point aux études multidisciplinaires. Les travaux chimiques requièrent beaucoup d'espace, et des laboratoires « propres » sont essentiels aux analyses d'oligo-éléments. De plus, il

faut éviter soigneusement la contamination par le câble hydrographique, l'atmosphère du navire et le navire lui-même.

Les méthodes contemporaines d'analyse chimique, y compris la spectrophotométrie en ultraviolet et dans la région visible, la spectrophotométrie par absorption atomique, la chromatographie gaz-liquide, les méthodes électrométriques, etc., sont souvent inadéquates à des mesures océanographiques. Par exemple, les procédures existantes sont à peine convenables à l'étude des variations du rapport des constituants majeurs de l'eau de mer, ou à l'étude de plusieurs composés inorganiques et organiques à l'état de traces dans les cas où les limites de détection ne sont que légèrement inférieures aux concentrations réelles présentes. Il en est résulté bien des différences d'opinions entre divers chercheurs en ce qui concerne les niveaux de métaux à l'état de traces et des composés organiques dissous dans l'eau de mer. La plupart de ces différences seraient éliminées si la chimie marine avait à sa disposition des méthodes d'analyse adéquates et calibrées, de même que des matériaux de référence standards. C'est à ce moment-là seulement qu'on aura des analyses suffisamment précises pour être reconnues devant les tribunaux à l'appui de la Loi proposée sur les produits de contamination de l'environnement. De plus, l'acceptation à l'échelle internationale de méthodes et de matériaux de référence standards peut être le facteur contrôlant en ce qui a trait à la législation applicable au rejet des déchets et à la pollution des mers par les navires, ainsi qu'au succès des programmes de contrôle continu de la pollution à l'échelle mondiale.

Une des tâches difficiles de la chimie analytique est l'identification des composants de la matière organique de l'eau de mer. La plupart des méthodes analytiques permettent d'identifier les classes, les hydrates de carbone ou les acides aminés par exemple, plutôt que les composés individuels. Ceci peut être approprié dans certains cas, mais on a besoin de méthodes permettant de concentrer la matière organique de l'eau de mer pour ensuite identifier des composés spécifiques.

La cryodessication offre certains avantages spéciaux sur d'autres. Il devrait être possible de séparer des fractions organiques les sels résultant de ce procédé, en utilisant une série de solvants de polarité croissante, comme en chromatographie sur colonne. À partir de cette technique, on devrait développer une méthode générale pour la concentration et la séparation des diverses fractions de matière organique dans l'eau de mer, alors que des progrès dans la chromatographie liquide à haute pression peuvent permettre de séparer les fractions organiques sur la base du poids moléculaire. Des techniques apparentées, telles que la dialyse sous pression, semblent prometteuses pour la séparation des matériaux colloïdaux de ceux en solution véritable.

On a à peine exploré les possibilités de la chromatographie en phase gazeuse pour la séparation et la détection de composés organiques dans des concentrés extraits de l'eau de mer. Les détecteurs devront posséder une plus grande spécificité plutôt qu'une plus grande sensibilité avant qu'on puisse appliquer avec succès à ce problème la chromatographie en phase gazeuse conventionnelle. La chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse combinées à une installation de calcul appropriée peuvent théoriquement identifier chaque composant sur le chromatogramme. Ces méthodes offrent beaucoup de potentiel vers la solution de ce problème et d'autres en chimie marine. Cette approche a déjà démontré son utilité dans les travaux sur la pollution par le pétrole.

Afin de décrire la distribution du carbone organique, tant dans l'espace que dans le temps, et d'identifier les principaux composés présents, il est nécessaire de connaître la quantité totale de carbone organique ainsi que les groupes majeurs de composés présents. Il est de plus hautement désirable que la méthode analytique soit suffisamment simple pour être utilisée en mer.

Les méthodes existantes de dosage du carbone total convertissent la matière organique présente dans un échantillon d'eau en CO_2, après enlèvement du carbone inorganique. Avant de pouvoir étudier effectivement cet aspect de l'océanographie chimique, il faudra trouver une solution à l'écart observé entre les résultats obtenus par oxydation humide et par combustion sèche. Une méthode qui semble très prometteuse est la combustion « instantanée » ou injection directe suivie de la conversion du CO_2 en méthane et détermination dans un détecteur à ionisation de flamme.

La tendance actuelle est vers l'automatisation lorsqu'on a à sa disposition des méthodes convenables de traitement et d'analyse des échantillons, et de manipulation des données analytiques. Non seulement la reproductibilité des protocoles analytiques est-elle améliorée par réduction de l'erreur humaine, l'ennui d'une analyse de routine est grandement dissipée. Des méthodes automatisées pouvant être utilisées en mer permettent d'effectuer bien des analyses peu après la collection, éliminant de cette façon les incertitudes que cause l'entreposage des échantillons et permettant de plus de répéter l'échantillonnage et de prendre toute autre mesure appropriée avant de quitter le lieu d'échantillonnage. Néanmoins, il semblerait qu'on soit proche du point où les raffinements aux méthodes analytiques existantes tant pour les substances inorganiques qu'organiques dans l'eau de mer ont atteint leur plein potentiel et qu'on ait besoin d'un nouveau concept d'analyse afin de résoudre plusieurs problèmes contemporains et futurs en océanographie chimique.

Le développement de dispositifs in situ pour des travaux d'océanographie chimique est très prometteur pour l'avenir. Il existe présentement des détecteurs

pour la température, la salinité, l'oxygène dissous, le matériel particulaire et le pH, mais il n'y en n'a pas pour les autres constituants de l'eau de mer. Les développements futurs dans ce domaine peuvent modifier complètement notre présente approche à la chimie marine. De plus, on se servira probablement davantage de télédétecteurs depuis des aéronefs et des satellites dans les relevés.

Le programme canadien

Ce n'est qu'au cours des 5 dernières années que l'océanographie chimique s'est donné un programme autonome au Canada. Avant 1960, il y avait sur la côte occidentale une poignée de chimistes qui travaillaient sur des problèmes liés aux pêches, mais il n'y avait pas à cette époque d'océanographes chimistes travaillant sur la côte orientale. Entre 1960 et 1970, des institutions sur les deux côtes ont recruté des chimistes dont l'intérêt principal portait sur la chimie de l'océan, et qui travaillèrent en grande partie comme individus associés à une autre discipline. De 1970 jusqu'à présent, le nombre d'océanographes chimistes a été suffisant pour permettre à quelques-unes des institutions de définir des programmes en océanographie chimique. Il y a à l'heure actuelle six laboratoires universitaires et fédéraux poursuivant des travaux en océanographie chimique et un total de 24 océanographes chimistes. Ceci ne représente toutefois pas la somme totale de toutes les recherches qui se font sur la chimie des océans au Canada : il y a des biochimistes associés aux pêches qui poursuivent certaines études sur la chimie de l'océan comme partie de leur principal intérêt dans la chaîne alimentaire. Les 24 océanographes chimistes oeuvrent dans trois laboratoires universitaires et trois laboratoires fédéraux.

Sciences océaniques et aquatiques, région du Pacifique

La Division de chimie de l'océan, Sciences océaniques et aquatiques, région du Pacifique, est le principal groupe sur la côte occidentale du Canada à poursuivre des recherches sur la chimie de l'océan. La division, établie en 1970, comprend trois chimistes de la mer. Les débuts ont été lents, à cause du manque d'installations de laboratoire. Mais la division est maintenant établie dans un laboratoire temporaire à Victoria et logera éventuellement à l'Institut de la baie Patricia.

Le présent programme comprend surtout des recherches sur les cycles du carbone et de l'oxygène. Le travail sur le cycle du carbone est orienté vers le CO_2, sa présence dans la mer et son importance dans l'évaluation de la productivité, et vers la chimie des carbonates dans la mer. Les travaux ont été concentrés en haute mer, utilisant les données de la Station météorologique océanique Papa et des croisières trans-océaniques canadiennes *Hudson* 70 et *Transpac* 72. Le programme de recherches à la Station Papa nous fournit une des rares séries chronologiques de données en haute mer, et ceci a permis d'étudier la variation du CO_2 atmosphérique avec le temps et de suivre les paramètres de la chimie des carbonates dans l'eau. Au cours des croisières trans-océaniques, on a étudié la différence de CO_2 entre l'air et l'eau de surface, et l'aptitude de l'océan à contrôler l'accumulation de CO_2 fossile. On étudie également le cycle du CO_2 dans l'Expérience sur la pollution contrôlée de l'écosystème (EXPCE), un programme international ayant pour objet l'étude d'une communauté planctonique isolée dans un grand sac de plastique suspendu dans l'océan.

Les travaux sur les produits de contamination de l'environnement portent surtout sur les hydrocarbures et le plomb associés au pétrole, leur distribution dans la mer, les organismes marins et les sédiments superficiels dans le Pacifique Nord, le détroit de Georgie et la mer de Beaufort. La division participe à l'expérience EXPEC et poursuit des études de transfert dans la chaîne alimentaire marine avec isotopes de plomb de même que des études de traceurs radiochimiques.

À la Station Papa, on poursuit un programme de contrôle continu des substances nutritives, du radiocarbone et, plus tard, on étudiera le tritium. Ceci en plus de mesures de CO_2.

On entreprendra un important programme d'évaluation de la qualité de l'eau dans le détroit de Georgie. Ce programme inclura le contrôle continu de métaux lourds, d'hydrocarbures associés au pétrole et aux hydrocarbures chlorés.

Institut d'océanographie, Université de la Colombie-Britannique

L'Institut d'océanographie de l'Université de la Colombie-Britannique compte un océanographe chimiste parmi son personnel. Des travaux récents ont porté sur les métaux à l'état de traces et comprenaient : la distribution de Mn, Cu, Zn, Ni et Cd dans l'inlet Saanich et la façon dont les concentrations varient à mesure que les eaux du fond passent de conditions oxiques à des conditions anoxiques; et interaction de Cu et Zn dans le détroit de Georgie avec les solides en suspension provenant du fleuve Fraser.

L'Institut a l'intention de recruter un biochimiste et de mettre sur pied un programme orienté vers la biochimie.

Institut de l'environnement du Pacifique

L'Institut de l'environnement du Pacifique fut fondé en 1970 dans le but de poursuivre des recherches sur

la pollution de l'eau en rapport avec la protection des ressources aquatiques renouvelables de la région du Pacifique. Comme partie de son programme, l'Institut poursuit des études sur les polluants chimiques dans les régions côtières avec accent pour le moment sur les estuaires. Deux chimistes sont impliqués dans ces études. Parmi les travaux récents, on note : la distribution et les effets de résidus de mines dans le détroit de Howe et l'inlet Rupert; études de pollution marine au voisinage des moulins de pâte à papier et identification, dans les effluents de ces moulins, de constituants organiques toxiques pour la vie aquatique; et des travaux sur les acides résineux et leurs concentrations dans le fleuve Fraser et la rivière Thompson.

Section d'océanographie, Université du Québec à Rimouski

Le groupe d'océanographes chimistes le plus récemment formé au Canada est celui de l'Université du Québec à Rimouski. Le groupe est partie d'une section multidisciplinaire d'océanographie dont l'intérêt principal est l'océanographie chimique. Depuis 1972, on a recruté six chimistes de la mer, dont la plupart n'avaient pas d'expérience en océanographie chimique. Au cours des 3 années qui suivirent, on a élaboré un programme d'études portant sur divers aspects de la chimie de l'estuaire du Saint-Laurent. On peut présentement y poursuivre des recherches et suivre des cours au niveau de la maîtrise. On maintient une liaison et une coopération étroite avec la Division d'océanographie chimique du Laboratoire océanographique de l'Atlantique, qui a également un programme dans le Golfe.

Le programme couvre plusieurs sujets. On étudie les sources, les puits et les modes de transport de matière particulaire en suspension dans l'estuaire du Saint-Laurent, y compris des travaux sur la matière particulaire en suspension en relation avec la circulation dans le fjord du Saguenay.

Les études sur la matière particulaire comprennent également la composition de la matière en suspension et son interaction avec les métaux à l'état de traces. On poursuit des recherches sur les effets des métaux lourds sur les algues marines et sur la sorption du cadmium par des cultures d'algues unicellulaires en laboratoire. Une partie des travaux est liée aux problèmes de polluants, en particulier pollution par le pétrole. Ce dernier domaine inclut des études sur le taux de formation et les propriétés physiques d'émulsions eau-pétrole, et sur la formation d'émulsions en présence de grains de sédiment.

L'intérêt du groupe dépasse les limites du Golfe. On étudie les mécanismes réglant la distribution en régime d'équilibre du soufre dans les océans. On a également fait, en collaboration avec des collègues du Laboratoire océanographique de l'Atlantique, une étude des relations entre les métaux à l'état de traces et les masses d'eau sur le plateau Néo-écossais.

Département d'océanographie, Université Dalhousie

La recherche en océanographie chimique à Dalhousie est effectuée par deux océanographes chimistes sous la direction desquels travaillent trois candidats au M.Sc. et sept candidats au Ph.D. Le programme débuta en 1965 avec un chimiste de la mer auquel est venu s'adjoindre un deuxième en 1972.

Une grande partie de la recherche est du type décrit sous les rubriques chimie des solutions et chimie des surfaces du chapitre précédent. C'est-à-dire qu'elles portent sur la cinétique des réactions chimiques et problèmes semblables. Il y a très peu de travaux de ce type poursuivis dans les autres laboratoires. Parmi les projets en cours, on note : le comportement de l'aragonite et de la calcite dans l'eau de mer, et la variation de la solubilité de la calcite en fonction de la température, de la pression et de la composition de l'eau de mer; l'effet de la pression sur la solubilité et la cinétique des solutions de silice et d'argiles dans l'eau de mer; la sorption de métaux de transition à lien organique sur les surfaces de silice; les populations des bulles et leur corrélation avec les concentrations organiques et la turbulence dans les 30 m supérieurs de la mer.

Le groupe s'occupe depuis plusieurs années des divers aspects du cycle du carbone dans l'océan. En particulier, on a fait des travaux sur la distribution spatiale du carbone organique particulaire et sa relation avec les agrégats de plancton, et sur la dynamique et l'utilisation du carbone organique dissous.

Le groupe poursuit également des études de phénomènes de transport et d'interaction à la surface de la mer. Deux projets en cours de ce dernier type sont l'analyse des concentrations de métaux de transition et le flux de ces complexes entre l'eau de mer et l'atmosphère d'une part, et une étude de la réaction photochimique des acides aminés dans les couches minces superficielles d'autre part.

Laboratoire océanographique de l'Atlantique

La Division de chimie du Laboratoire océanographique de l'Atlantique comprend le plus grand groupe d'océanographes chimistes au Canada. Elle est constituée de huit scientifiques et d'un personnel technique de support. La division a été formée en 1970 avec un noyau de quelques chimistes de la mer vaguement attachés aux principaux programmes de recherches en océanographie physique. La division a crû en force et en compétence et possède maintenant un programme et un personnel viables.

Le programme de la division porte surtout sur les distributions, les cycles, les flux et les mécanismes contrôlant les matériaux organiques et inorganiques dans le milieu marin. Il englobe les études suivantes : processus et mécanismes contrôlant les constituants inorganiques de l'eau de mer; les flux de gaz à travers la surface air-mer; les flux et l'origine du matériel organique dans les océans; les résidus pétroliers dans le milieu marin; les substances nutritives et les processus biologiques/physiques; les variations et les mécanismes de transport d'isotopes stables.

Un objectif majeur du moment est de comprendre la chimie du golfe Saint-Laurent. On a déjà étudié plusieurs caractéristiques chimiques du Golfe et on les comprend dans leurs grandes lignes. Le travail dans le Golfe inclut : la distribution des substances nutritives et leur relation avec les masses d'eau; les niveaux naturels et le comportement des métaux de transition et des métaux lourds, et le degré auquel les activités de l'homme ont modifié ces niveaux; les distributions de la température, de la salinité, de l'oxygène, du CO_2 total dissous, des carbonates et de l'alcalinité totale; les rapports des isotopes stables O^{18}/O^{16} et C^{13}/C^{12} permettant de caractériser les masses d'eau et d'étudier leur mélange; la distribution quantitative et les flux de matière particulaire en suspension, et la séparation des métaux à l'état de traces entre les phases dissoute et particulaire, et l'évaluation de la pollution par le pétrole dans la région. Le programme de recherches est d'envergure et occupe environ 60% de l'effort de la division.

À échelle plus grande, la division poursuit des études de l'océan Atlantique et de cycles à échelle globale. L'étude des résidus de pétrole est un projet majeur. On étudie depuis 1971 la distribution des boules de goudron dans l'Atlantique Nord, et on suit de façon continue les niveaux de concentration des résidus de pétrole dans le golfe Saint-Laurent depuis 1970. En collaboration avec les océanographes physiciens, on effectue des mesures de distribution des substances nutritives dans l'Atlantique et de leur dépendance de l'advection.

La composition chimique de l'eau de mer est partiellement contrôlée par les flux de matériaux qui entrent dans l'océan et qui en sortent, et la division étudie plusieurs aspects de ces flux. On a mis sur pied un programme dont l'objet est de mesurer les échanges gazeux entre l'océan et l'atmosphère, et de les relier aux flux physiques de moment, d'énergie et de vapeur d'eau. Une partie du programme sera entreprise dans l'Arctique. On a également fait des travaux sur le degré auquel les poussières atmosphériques d'origine continentale peuvent influencer la composition en halogénures de la pluie et de la neige, et sur le transfert des halogénures à travers l'interface air-mer. On poursuit des études de modèles de géochimie des éléments à échelles globale et locale en vue de déterminer la façon dont la composition de l'eau de mer est contrôlée par la précipitation, l'érosion, la retombée, le ruissellement et la sédimentation.

Commentaires

1) Le caractère le plus évident du programme canadien est sa très récente origine. Tous les groupes ont dû consacrer un effort considérable simplement pour mettre sur pied des installations de laboratoire à terre et à bord des navires, et recruter du personnel. Une bonne partie de ce personnel n'avait pas beaucoup de formation en océanographie chimique. L'expérience acquise dans les autres disciplines de l'océanographie a démontré qu'il fallait entre 5 et 10 ans pour que les groupes puissent acquérir l'expérience, l'équipement et la maturité d'un programme scientifique vigoureux et bien établi. Dans son ensemble, la communauté d'océanographes chimistes au Canada n'a réellement pas dépassé le stade d'organisation, et les institutions individuelles n'ont fait que décider de la direction de leurs programmes de recherches.

2) Le développement d'océanographes chimistes s'est poursuivi avec plus de vigueur sur la côte de l'Atlantique que sur la côte du Pacifique. Des 24 océanographes chimistes, 18 sont sur la côte orientale. Cette tendance se poursuivra probablement pendant quelque temps encore, en particulier dans les institutions universitaires.

3) Les problèmes de pollution ont eu une influence considérable sur les sujets d'étude des chimistes. Ceci est facile à comprendre à cause de l'intérêt que suscite depuis quelque temps l'état de l'environnement, et si l'on considère qu'un grand nombre de problèmes de pollution nécessitent des conseils ou des recherches sur la chimie de l'océan. Les problèmes de pollution se sont posés en grande partie dans les régions côtières, de sorte que le travail des chimistes s'est concentré sur les estuaires et les régions côtières.

4) Il est bon de passer brièvement en revue les régions où des programmes d'océanographie chimique sont en cours. Le Département d'océanographie à Dalhousie, la Division de chimie du Laboratoire océanographique de l'Atlantique et la Division de chimie des Sciences aquatiques et océaniques, région du Pacifique, sont tous impliqués dans des aspects de la chimie des profondeurs. Les priorités ne sont pas toutefois très hautes, et le groupe de Dalhousie est le seul pour lequel des études en eaux profondes, y compris le plateau continental, constituent la majeure partie du programme. Le programme de Dalhousie est plus étendu que ne l'indique le personnel permanent de deux chimistes à cause du nombre de candidats au Ph.D. Il se fait très peu de travaux dans l'Arctique. Il n'y a présentement que deux projets de recherches : l'étude de la mer de Beaufort entreprise par les Sciences océaniques et aquatiques, région du Pacifique, et un projet sur l'échange des gaz avec

l'atmosphère que se propose d'entreprendre le Laboratoire océanographique de l'Atlantique dans les régions découvertes de l'océan Arctique. La plus grande partie de l'effort en océanographie chimique est axée sur les petites baies côtières et les estuaires. Parmi ces dernières, le détroit de Georgie et l'estuaire du Saint-Laurent sont les régions dans lesquelles on fait le plus de travail.

5) Le développement de techniques analytiques, particulièrement de techniques permettant de faire des mesures in situ, est une des tâches principales auxquelles les océanographes chimistes ont encore à faire face. Cela soulève la question de la disponibilité de fonds suffisants pour permettre aux chimistes de la mer de se procurer l'outillage raffiné nécessaire à l'analyse moderne. Nous avons constaté au cours de cette étude que l'océanographe chimiste n'était pas indûment affecté par le manque d'équipement ou de fonds pour s'en procurer. Un problème général des université est la disponibilité de fonds dans les départements d'océanographie pour engager du personnel technique. Ce problème est présentement à l'étude par un comité du Comité canadien d'océanographie. Les facilités de travail en mer à la disposition des océanographes chimistes sont satisfaisantes. Il n'y a pas lieu de construire un navire spécialisé pour la chimie, même en tenant compte des exigences d'analyses chimiques en mer. On devrait toutefois accorder plus d'importance, sur les navires futurs, à des laboratoires plus spacieux équipés ou pouvant être équipés en vue d'analyses chimiques, et à des installations de laboratoire portatives et « propres ». Un progrès significatif a été la décision du Conseil national de recherches d'établir un Centre analytique marin au Laboratoire régional de l'Atlantique du CNR. Le centre sera pourvu d'installations qui « aideront les scientifiques de la mer à se décharger de leurs responsabilités en ce qui a trait à la chimie analytique », et à « développer des protocoles d'échantillonnage, des matériaux de référence et des normes sur lesquels tous sont d'accord. »

Conclusions

La conclusion de cette étude est que l'océanographie chimique au Canada est sous-développée comparativement à l'océanographie physique et à la biologie. Le progrès le plus marqué a été de reconnaître l'océanographie chimique, dans plusieurs des institutions océanographiques, comme une discipline à être poursuivie comme telle. Il y aura toujours un fort élément de chimie, en particulier si l'on inclut la biochimie, qui entrera dans les programmes biologiques et de l'environnement. On devrait donc s'attendre de trouver dans les laboratoires océanographiques et biologiques un ou deux chimistes qui sont partie intégrale de ces programmes. Il est désirable de développer davantage les groupes existants de l'Université du Québec à Rimouski et à l'Université Dalhousie, le Laboratoire océanographique de l'Atlantique et les Sciences océaniques et aquatiques, région du Pacifique, comme groupes dont la vocation est d'explorer la chimie des océans. Le Canada aura ainsi deux écoles d'océanographie chimique, l'une anglophone et l'autre francophone, et un groupe sur chaque côte dans les laboratoires fédéraux. Comme trois de ces laboratoires sont situés sur la côte de l'Atlantique, la plus grande part de l'océanographie chimique se fera dans la région atlantique, ce qui est en proportion de la longueur de la ligne de côte et l'utilisation des régions côtières dans lesquelles se posent la plupart des problèmes de l'environnement. L'océanographie chimique à la Direction générale des sciences de la mer, région du Pacifique, devrait être beaucoup plus forte qu'elle ne l'est présentement si elle doit répondre aux besoins de la recherche en océanographie chimique dans le Pacifique et dans les eaux côtières de la côte occidentale.

Il est évident qu'une gamme étendue de problèmes se présentent quand on considère ce qu'il faut faire pour comprendre le comportement chimique des océans. Le programme canadien ne peut en couvrir tous les aspects, et les laboratoires devraient exercer un choix dans les domaines à étudier. Nous n'avons détecté, au cours de cette étude, aucun domaine particulier de recherches fondamentales en chimie océane qui perçait plus qu'un autre et qui pourrait justifier un effort national, soit à cause de promesse de faire avancer la science soit à cause de son importance pratique. C'est donc à dessein que nous nous abstenons dans ce rapport de faire des recommandations à cet effet. Pour que le Canada puisse disposer des connaissances les plus modernes en océanographie chimique à des fins utilitaires, la meilleure stratégie est de développer une science solide dans les laboratoires existants et de s'assurer d'un contact adéquat avec les travaux qui se font ailleurs dans le monde.

La plus grande partie du programme se poursuit dans les eaux côtières, et on y accordera encore plus d'importance au cours des quelques prochaines années, avec le développement des projets du golfe Saint-Laurent et du détroit de Georgie. C'est dans ces régions que se trouve la plus grande partie de la population côtière canadienne. La zone côtière est également celle où la modification de la chimie de l'océan par les effluents industriels et municipaux est la plus importante à l'heure présente. En fait, ce sont justement ces considérations qui ont entraîné cette concentration de l'activité. Il ne reste pas beaucoup d'effort qui ne soit pas utilisé, et le programme canadien sur les plateaux continentaux et dans les profondeurs de l'océan n'est pas très bien développé.

Des pêches majeures se pratiquent sur les plateaux continentaux et le long de leurs marges. Dans la première partie du rapport sur l'océanographie physique, nous avons discuté de la nécessité d'intensifier

les études multidisciplinaires dans ces régions en vue d'une gestion et de prédictions à long terme. Les mêmes considérations s'appliquent à la recherche en océanographie chimique en rapport avec les pêches. Lorsqu'il s'agit de prédire les pêches, une grande partie du problème porte sur les approvisionnements en substances nutritives, la chimie de la production primaire et autres processus chimiques qui affectent la croissance des organismes dans la mer. L'intérêt sur les effets de la pollution a eu tendance à reléguer dans l'ombre cette application de nos connaissances sur la chimie de l'océan. Si l'on veut en arriver à gérer les pêches, y compris faire des prédictions fondées sur des conditions océanographiques changeantes, il nous faudra pouvoir décrire et comprendre les mécanismes qui règlent les changements dans les paramètres chimiques importants pour les pêches. À long terme, il faudra consacrer plus d'effort à des études orientées vers les conséquences sur les pêches de changements naturels dans la chimie de l'océan, en particulier sur les plateaux continentaux.

Il est désirable que le Canada contribue de façon plus substantielle à des travaux dans les profondeurs de l'océan. Les océanographes chimistes canadiens ont été très actifs dans des organismes internationaux tels que GESAMP (Group of Experts on Scientific Aspects of Pollution), ont contribué à l'élaboration de critères destinés à une législation internationale sur l'atténuation de la pollution (InterGovernmental Maritime Consultative Organization), et à la mise au point de propositions en vue du contrôle continu des polluants (Intergovernmental Oceanographic Commission). Les Canadiens ont joué un rôle de valeur dans ces travaux, et il est essentiel qu'ils continuent de la faire si l'on veut faire entendre notre voix sur les politiques de gestion des océans. Les résultats de nos travaux dans les régions côtières ont inspiré beaucoup de respect, mais il y a également les aspects eau profonde du problème de la pollution. On devrait s'attendre de continuer à fournir une contribution raisonnable au comportement chimique dans les profondeurs de la mer à l'appui, non seulement de notre crédibilité, mais aussi de notre aptitude à formuler une politique intelligente. En plus des problèmes de pollution, nous sommes également intéressés à la chimie des profondeurs de l'océan du point de vue des pêches, car les processus chimiques dans cette région affectent les conditions sur les plateaux continentaux. Dans le climat économique actuel, nous ne pouvons recommander un effort accru dans ce domaine, d'autant plus qu'il existe des problèmes plus pressants dans la région côtière. Cependant, une fois terminés les projets du golfe Saint-Laurent et du détroit de Georgie, une partie de nos efforts devrait être reorientée vers les profondeurs.

Il y a un manque évident de programmes en océanographie chimique dans l'Arctique, à l'exception d'évaluations à court terme présentement effectuées dans la mer de Beaufort et dans la baie James. Le manque de connaissances de la chimie des eaux arctiques est évident dans les documents préparés lors de conférences et en termes du contenu en océanographie chimique des projets actuels d'évaluation de l'environnement. En général, les travaux se sont limités à des études de pollution visible tel le pétrole, ou à des mesures de quelques-uns des paramètres fondamentaux telles les substances nutritives. Nous n'apprenons donc que très peu de la chimie des eaux arctiques et, ce qui est regrettable, nous n'accumulons pas l'expérience nécessaire dans les techniques et protocoles de mesures chimiques dans les conditions difficiles qui prévalent dans les eaux septentrionales. Considérant les intérêts canadiens dans l'Arctique, les laboratoires devraient être encouragés à entreprendre des études à long terme de la chimie des eaux de l'Archipel, de l'océan Arctique et de la baie et du détroit d'Hudson. On pourrait facilement commencer dès maintenant un modeste programme en océanographie chimique dans les cadres de la Direction générale des sciences océaniques et aquatiques, région du Pacifique, qui a déjà acquis une compétence dans des opérations sur la glace lors d'études en océanographie physique. Quelques-unes des principales différences entre la chimie des eaux arctiques et celle des eaux tempérées relèveront de la biochimie. C'est là une partie importante du spectre entier de la chimie qui devrait être couvert dans l'Arctique.

Les océanographes chimistes canadiens ont répondu de façon plus qu'adéquate aux problèmes de pollution. Une grande partie de la recherche entreprise dans les laboratoires est orientée vers un aspect ou l'autre de la préservation ou de l'évaluation de la qualité de l'environnement marin. Nous continuerons de nous intéresser aux problèmes de pollution. Par ailleurs, comme nation possédant de grands intérêts halieutiques, nous devons nous assurer qu'en tout temps, l'effort consacré à ces pêches est adéquat.

Les océanographes chimistes s'inquiètent du fait que nous négligeons de cueillir des données de base permettant de décrire l'état naturel des eaux autour des côtes canadiennes. Jusqu'à présent, la plupart de nos eaux n'ont pas reçu de matériaux anthropogènes. Nous sommes dans l'heureuse situation de pouvoir établir les concentrations naturelles de plusieurs substances dont la toxicité nous affectera si elles s'accumulent dans les océans. Malheureusement, nous ne le faisons pas de façon systématique. Des données de ce genre auront une valeur inestimable dans vingt ans. Un projet de cette nature ne semble pas très urgent dans le moment, bien qu'il le soit en réalité si nous voulons obtenir des données avant que se fasse sentir les effets d'une activité accrue le long de nos côtes. La collecte de données de ce genre nous permettra d'évaluer tout changement dans l'océan et de plus, d'éviter la situation de ne pas savoir si les concentrations sont dues à des apports anthropogènes

ou à des causes naturelles. Ce dernier type de situation a causé des difficultés considérables dans le passé quand il s'est agi de prendre des décisions intelligentes en rapport avec la pollution. L'Institut de l'environnement du Pacifique s'efforce présentement de réunir toutes les données sur les fjords de la Colombie-Britannique. Un programme de collecte de données de base doit être considéré avec beaucoup de soin dès les débuts, et il est désirable de former un comité national qui sera chargé d'étudier ce qui devrait être fait.

Recommandations

1) Les groupes en océanographie chimique aux Sciences océaniques et aquatiques, région du Pacifique; l'Université du Québec à Rimouski; le Département d'océanographie de l'Université Dalhousie; et le Laboratoire océanographique de l'Atlantique devraient être développés davantage comme centres d'océanographie chimique au Canada.

2) Le programme canadien devrait être élargi dans le futur immédiat et inclure plus de travaux sur les plateaux continentaux.

3) Un des centres d'océanographie chimique devrait inclure des travaux dans les eaux de l'Arctique comme point central régional de son programme.

4) On devrait instaurer un programme de collecte de données de base dans les eaux de la côte canadienne, et on devrait mettre sur pied un comité national pour élaborer le programme et en suivre les progrès.

5) Le Canada devrait au moins maintenir à son présent niveau son effort portant sur les problèmes des profondeurs de l'océan. Une fois terminés les projets du détroit de Georgie et du golfe Saint-Laurent, on devrait consacrer plus d'effort dans les profondeurs de la mer et dans les aspects globaux de l'océan.

6) On devrait accorder plus d'attention à ces aspects de la chimie de l'océan, autres que les problèmes de pollution, qui ont une importance pour la prédiction des pêches et pour la compréhension de l'écologie marine.

7) À mesure que le programme canadien mûrit, on devrait entreprendre des projets conjoints avec les océanographes chimistes d'autres pays. Les laboratoires devraient continuer de développer une étroite liaison avec les laboratoires étrangers, y compris un programme d'échange de visites de scientifiques canadiens à l'étranger et de scientifiques étrangers au Canada.

Remerciements

Il aurait été impossible de rédiger ce rapport sans la bonne coopération de plusieurs océanographes chimistes canadiens. Je voudrais remercier en particulier MM. Peter Wangersky et Michael Waldichuck, ainsi que les océanographes chimistes de l'Université du Québec à Rimouski avec lesquels nous avons eu des discussions fructueuses; M. C. S. Wong, qui m'a fourni une revue de la chimie sur la côte occidentale; la division de l'océanographie chimique du Laboratoire océanographique de l'Atlantique, à laquelle je dois une revue de l'océanographie chimique et une évaluation de travaux futurs possibles; MM. E. M. Levy et E. P. Jones qui ont incorporé cette revue dans un rapport, dont une partie constitue le troisième chapitre; et MM. George Pickard et Alan Walton qui firent une critique très soigneuse du manuscrit.